

Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



“Minería de Procesos para la explotación de conocimiento
en empresas de desarrollo de software con prácticas de
CMMI-DEV”

TESIS

que para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS

Presenta

Paola Elvira Velázquez Solís

Directora: Dra. Brenda L. Flores Ríos

Mexicali, Baja California. 2017.

RESUMEN de la Tesis de Paola Elvira Velazquez Solis, presentado como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS, Mexicali, Baja California, Septiembre de 2017.

Minería de Procesos para la explotación de conocimiento en empresas de desarrollo de software con prácticas de CMMI-DEV.

Resumen aprobado por:

Dra. Brenda L. Flores Ríos.

Las organizaciones desarrolladoras de software se apoyan en programas de mejora de procesos de software (*Software Process Improvement*, SPI por sus siglas en inglés) con el propósito de obtener una mejora continua de los procesos a través de un ciclo de vida iterativo, dichos programas contribuyen al aumento gradual de la satisfacción del cliente, a la obtención de un producto de calidad y a la generación de lecciones aprendidas (Capote et al., 2008).

En un programa SPI, en la medida que se genera la evidencia de la ejecución de las actividades o prácticas requeridas por el modelo de referencia de procesos o ciclo de mejora, se incrementa la cantidad de datos e información por cada proceso dentro de los sistemas de información o bases de datos. Esto provoca algunos problemas en el control de la información almacenada en los repositorios de evidencias de la organización. Por lo general, las organizaciones utilizan como repositorios las bases de datos, bases de conocimiento, intranet o sistemas de información, donde el tamaño de estas se basa en criterios sobre capacidad de almacenamiento y eficiencia de procesamiento de información, dejando de lado en ocasiones el uso posterior para la exploración, explotación y análisis de los registros. Es así, como el limitado acceso a dicha información impide el enriquecimiento de criterios para la toma de decisiones necesarias en el descubrimiento de nuevas reglas de negocio, mejora continua, monitoreo o un control de los procesos ya establecidos (Orellana et al., 2015).

La Minería de Procesos se sitúa entre la Minería de Datos y el Análisis de Procesos de Negocio, implementando parte de la Inteligencia de Negocios para controlar los eventos, actividades de negocio y el procesamiento de eventos complejos con las tecnologías que permiten procesar grandes cantidades de eventos. Todo lo anterior, permite monitorear, dirigir y optimizar un negocio en tiempo real (Van der Aalst et al, 2012). El desafío es aprovechar los datos de eventos o registros en una forma significativa, por ejemplo, para

proveer un mejor entendimiento de las actividades realizadas, identificar cuellos de botella en los procesos, anticipar problemas, registrar violaciones de políticas, recomendar contramedidas y simplificar procesos (Van der Aalst et al, 2012).

En este documento, se expone la importancia de implementar técnicas que permitan ser adoptadas o aplicadas por el responsable de mejora de procesos en organizaciones de desarrollo de software, para conocer el estado actual de la ejecución de las actividades y/o diagnosticar el nivel de capacidad de los procesos de software en un tiempo determinado. La estrategia es demostrar que al implementar técnicas de Minería de Procesos mediante dos tipos de herramientas, se logra representar una trazabilidad en modelos definidos responsable de mejora de procesos y las áreas de procesos de Gestión de Proyectos establecidas por el modelo de referencia CMMI for Development (CMMI-DEV) v1.3.

Palabras clave: Minería de Procesos, Mejora de Procesos de Software, CMMI

ABSTRACT of the Thesis, presented by Paola Velazquez, as a partial requirement to obtain the MASTER IN SCIENCE, Mexicali, Baja California, September 2017.

Process Mining for exploitation of knowledge in software development enterprises with CMMI-DEV practices.

Approved by:

Dra. Brenda L. Flores Ríos.

Software development organizations support themselves on Software Process Improvement (SPI) programs with the purpose of continuous process improvement through an iterative lifecycle, such programs contribute to gradual increase of customer satisfaction, to obtain a quality product and to the generation of lessons learned (Capote et al., 2008).

In an SPI program, while the evidence of the execution of the activities or practices required by the process reference model or improvement cycle is generated, the amount of data and information increases for each process within the information systems or databases. This causes some problems in the control of the information stored in the evidence repositories of the organization. Generally, databases, knowledge bases, intranets or information systems are used as repositories where the size of these is based on criteria about storage capacity and information processing efficiency, sometimes leaving aside later use for the exploration, exploitation and analysis of logs. Is this how limited access to such information prevents the improvement of criteria for the decision making that are needed in the discovery of new business rules, continuous improvement, monitoring or control of the already established processes (Orellana et al., 2006). The different standards and models of software processes, such as CMMI (Capability Maturity Model Integration), ISO / IEC 15504, ISO / IEC 12207: 2004, NMX-I-059-NYCE-2011 and COMPETISOFT (Pino et al., 2006), do not propose techniques, tools or algorithms to adequately extract the information or knowledge existing in their logs.

Process Mining is located between Data Mining and Business Process Analysis, implementing part of Business Intelligence to control events, monitor business activities and process complex events with technologies that allow large amounts of processing of events. All of the above allows to monitor, direct and optimize a business in real time (Van der

Aalst et al, 2012). The challenge is to take advantage of event or record data in a meaningful way, for example, to provide a better understanding of the activities carried out, identify process bottlenecks, anticipate problems, record policy violations, recommend countermeasures and simplify processes (Van der Aalst et al, 2012).

This document outlines the importance of implementing techniques that allow to be adopted or applied by the person responsible of process improvement in software development organizations, to know the current state of execution of activities and/or diagnose the capability level of software processes in a given time. The strategy will be use Process Mining in processes areas of Project Management defined by the reference model CMMI (Capability Maturity Model Integration) for Development (CMMI-DEV) v1.3.

Keywords: Process Mining, Software Process Improvement, CMMI

Agradecimientos

Al programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería del Instituto de Ingeniería (MyDCI) de la Universidad Autónoma de Baja California, por brindarme la oportunidad de crecer académicamente.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de los estudios de maestría y el desarrollo del presente trabajo de tesis. De igual manera, agradezco por los apoyos otorgados para movilidad estudiantil en el extranjero.

Al Dr. Francisco J. Pino por la guía y consejos durante mi movilidad estudiantil. Así como también a la UNICAUCA por el apoyo como sede.

Agradecimientos especiales a mi tutora y directora de tesis la Dra. Brenda Leticia Flores Ríos, por todo el apoyo recibido a lo largo de la maestría, por creer en mis capacidades y por ser una excelente guía para el desarrollo de este trabajo.

Dedicatoria

Con todo mi cariño y mi amor para las dos personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme, jamás perder la fe y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba.

Mis padres.

Índice

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Mejora de Procesos de Software	1
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivo General	7
1.5 Objetivos Específicos	7
1.6 Metodología	7
1.7 Estructura del documento	9
Capítulo 2. Modelo de Capacidad de Madurez	10
2.1 Antecedentes	10
2.2 CMMI-DEV Versión 1.3	12
2.2.1 Áreas de Proceso	12
2.2.2 Estructuras de las representaciones	15
2.2.3 Relaciones entre áreas de procesos	19
2.3 Planificación del Proyecto y Monitoreo y Control del Proyecto	21
2.4 Conclusiones del capítulo	23
Capítulo 3. Minería de Procesos en prácticas de CMMI	24
3.1 Planificación de la revisión	24
3.2 Ejecución de la búsqueda	25
3.3 Filtrado de estudios	26
3.3.1 Esquema de clasificación	27
3.3.2 Mapeo sistemático con Diagrama de Burbuja	29
3.4 Reportar los Resultados	30
3.5 Minería de Datos	32
3.6 Gestión del Conocimiento y Procesos de Negocio	34

3.7	Minería de Procesos.....	36
3.7.1	Registro de Eventos.....	38
3.7.2	Técnicas empleadas	41
3.7.3	Algoritmos.....	44
3.7.4	Herramientas	45
3.8	Relación de técnicas Minería de Datos y Minería de Procesos	47
3.9	Conclusiones del capítulo	48
Capítulo 4. Modelado de Áreas de Procesos de CMMI.....		49
4.1	Incidencia de la Minería de Procesos en un Programa SPI basado en CMMI-DEV v1.3	49
4.2	Descripción de los escenarios.....	60
Capítulo 5. Análisis de los Resultados.....		68
5.1	Análisis Exploratorio.....	68
5.1.1	Project Planning - Specific Goal 1	69
5.1.2	Project Planning - Specific Goal 2	72
5.1.3	Project Planning - Specific Goal 3	74
5.1.4	Project Monitoring and Control - Specific Goal 1	75
5.1.5	Project Monitoring and Control - Specific Goal 2.....	75
5.2	Descubrimiento de información y Análisis Organizacional.....	76
5.2.1	Heuristic Miner	77
5.2.2	Fuzzy Miner.....	78
5.2.3	Perspectivas Organizacionales.....	79
5.3	Conclusiones del capítulo.....	82
6	Capítulo 6. Conclusiones y Trabajo Futuro	83
6.1	Conclusiones	83
6.2	Trabajo Futuro	84
6.3	Logros Académicos	85

6.3.1	Productos Académicos	85
6.3.2	Ponencia en Congreso Internacional	86
6.3.3	Movilidad Estudiantil.....	86
	Referencias	87
	Anexos	92
	Anexo 1. Registro de eventos sintético para el área de procesos Planeación de Proyectos para la meta específica 1.....	92
	Anexo 2. Registro de eventos sintético para el área de procesos Planeación de Proyectos para la meta específica 2.....	94
	Anexo 3. Registro de eventos sintético para el área de procesos Planeación de Proyectos para la meta específica 3.....	96
	Anexo 4. Registro de eventos sintético para el área de procesos Monitoreo y Control del Proyecto para la meta específica 1.....	97
	Anexo 4. Registro de eventos sintético para el área de procesos Monitoreo y Control del Proyecto para la meta específica 2.....	98

Lista de Figuras

Figura 1.1 Elementos para una implementación y evaluación exitosa en un proyecto SPI..	1
Figura 1.2 Proceso de Desarrollo de Software centrado en el entorno de Minería de Procesos.	6
Figura 1.3 Diagrama mostrando la Metodología, modelado en SPEM (<i>Software Process Engineering Metamodel</i>) 2.0	8
Figura 2.1 Componentes del modelo CMMI-DEV v1.3.	12
Figura 2.2 Estructuras de las representaciones del modelo CMMI continua y escalonada.	15
Figura 2.3 Los cinco niveles de madurez del modelo CMMI representación escalonada	16
Figura 2.4 Estructura de la representación escalonada del modelo CMMI.	18
Figura 2.5 Estructura de la representación continua del modelo CMMI.	18
Figura 2.6 Relación entre áreas de procesos básicas de Gestión de Proyectos.	20
Figura 3.1 Proceso de ejecución de la búsqueda y filtrado de resultados.	27
Figura 3.2 Visualización del mapeo sistemático en diagrama de burbuja.	30
Figura 3.3 Clasificación de algunas técnicas de Minería de Datos.	34
Figura 3.4 Meta Modelo de Minería de Procesos (Poncin et al., 2011).	38
Figura 3.5 Diagrama de extracción de datos para un registro de eventos.	39
Figura 3.6 Estructura de un registro de eventos.	41
Figura 3.7 Los tres tipos básicos de Minería de Procesos explicados en términos de entradas y salidas: (a) descubrimiento, (b) verificación de conformidad, y (c) mejoramiento.	42
Figura 4.1 Modelo Integral para la incidencia de la Minería de Procesos en proyectos de mejora de procesos de software	50
Figura 4.2 Metodología para aplicar Minería de Procesos (Arias y Rojas, 2016).	51
Figura 4.3 Diagrama de Project Planning para las metas específicas 1 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3	63
Figura 4.4 Diagrama Project Planning para las metas específicas 2 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3	64
Figura 4.5 Diagrama Project Planning para las metas específicas 3 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3	65
Figura 4.6 Diagrama Project Monitoring and Control para las metas específicas 1 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3	66
Figura 4.7 Diagrama Project Monitoring and Control para las metas específicas 2 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3	67
Figura 5.1 Vista de la herramienta Disco.	69

Figura 5.2 Duración de las variantes del Proceso PP_SG1.....	70
Figura 5.3 Variante 1 PP_SG1 Proyecto2 (Izquierda) Variante 2 PP_SG1 Proyecto1 (Derecha).	71
Figura 5.4 Variante 3 PP_SG1 Proyecto4 (Izquierda) Variante 4 PP_SG1 Proyecto3 (Derecha).	71
Figura 5.5 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG1.....	71
Figura 5.6 Relación de Frecuencia de Actividades PP_SG2.....	72
Figura 5.7 Variante 1 PP_SG2 Proyecto1 (Izquierda) Variante 2 PP_SG2 Proyecto2 (Derecha).	73
Figura 5.8 Duración de las variantes del Proceso PP_SG2.....	73
Figura 5.9 Variante 3 PP_SG2 Proyecto4 (Izquierda) Variante 4 PP_SG2 Proyecto3 (Derecha).	73
Figura 5.10 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG1.....	74
Figura 5.11 Relación de Frecuencia de Actividades PP_SG3.....	74
Figura 5.12 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG3.....	74
Figura 5.13 PMC_SG1 vista general del análisis con Disco.....	75
Figura 5.14 Variante 1 PMC_SG1 Proyecto1 y 3 (Izquierda) Variante 2 PMC_SG1 Proyecto2 y 4 (Derecha).	75
Figura 5.15 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG3.....	75
Figura 5.16 PMC_SG2 vista general del análisis con Disco.....	76
Figura 5.17 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG3.....	76
Figura 5.18 Vista de la pantalla principal de la herramienta ProM.....	77
Figura 5.19 Diagrama con Heuristic Miner PMC_SG2.	78
Figura 5.20 Grafos dirigidos obtenidos con la métrica Handover of work.	81

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Requerimientos básicos de un proyecto SPI.	2
Tabla 1.2 Conocimiento de los modelos de calidad del proceso y producto en empresas desarrolladoras de software.	3
Tabla 1.3 Países con mayor número de entregas de SCAMPI A desde 2007 hasta 2015 (CMMI Institute, 2015).	4
Tabla 1.4 Evaluaciones por nivel de madurez en los años 2011 al 2015 (CMMI Institute)..	5
Tabla 2.1 Áreas de procesos en CMMI-DEV v1.3.	13
Tabla 2.2 Componentes de las áreas de procesos.	14
Tabla 2.3 Comparación de los niveles de capacidad y de madurez.	15
Tabla 2.4 Áreas de procesos relacionadas por categoría.	20
Tabla 2.5 Practicas específicas del área de proceso PP.	22
Tabla 2.6 Practicas específicas de área de proceso PMC.	22
Tabla 3.1 Documentos seleccionados de la revisión de la literatura.	28
Tabla 3.2 Propuestas a la definición de Minería de Procesos.	36
Tabla 3.3 Principales algoritmos en la PM.	45
Tabla 3.4 Características de tres de las herramientas disponibles para Minería de Procesos.	46
Tabla 3.5 Relación entre técnicas de Minería de Procesos con Minería de Datos.	47
Tabla 4.1 Elementos de PP_SG1 Establecer Estimaciones.	53
Tabla 4.2 Elementos de PP_SG2 Desarrollar un plan de proyecto.	54
Tabla 4.3 Elementos de PP_SG3 Obtener el compromiso con el plan.	56
Tabla 4.4 Elementos de PMC_SG1 Monitorizar el proyecto frente al plan.	57
Tabla 4.5 Elementos de PMC_SG2 Gestionar las acciones correctivas hasta su cierre.	59
Tabla 4.6 Relación Actor- Rol en los escenarios hipotéticos.	60

Lista de Abreviaturas

SPI	Mejora de procesos de Software (Software Process Improvement)
DT	Minería de Datos (Data Mining)
KDD	Conocimiento en bases de datos (Knowledge Discovery in Databases)
KM	Gestión de Conocimiento (Knowledge Management)
BI	Inteligencia de Negocios (Business Intelligence)
BPM	Gestión de Procesos de Negocio (Business Process Management)
PM	Minería de Procesos (Process Mining)
CMMI	Integración de modelos de madurez de capacidades (Capability Maturity Model Integration)
SCAMPI	Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement

Capítulo 1. Introducción

En este primer capítulo, se presenta la problemática detectada, así como la justificación para seleccionar como propuesta de solución la Minería de Procesos. También se exponen el objetivo general, los objetivos específicos de la investigación y la metodología usada para dar cumplimiento a los objetivos.

1.1 Mejora de Procesos de Software

El esquema tradicional de SPI ha demostrado ser efectivo en proyectos de gran escala, donde se exige tener un riguroso control sobre “qué realizan” las organizaciones y “cómo realizan” las actividades de los procesos organizacionales. El beneficio más sobresaliente e importante de SPI es la calidad, debido a que la calidad del producto determina el éxito de una organización de software, y la calidad del producto está determinada por la calidad de los procesos utilizados para desarrollarlo (Pardo et al., 2009). Es por esto que las organizaciones deben dedicarle recursos humanos, financieros y de tiempo a la definición, adecuación y mejora continua de sus procesos.

La interrelación de los elementos necesarios para llevar a cabo una implementación y evaluación exitosa en un proyecto SPI se presenta en la Figura 1.1 (Flores Ríos et al., 2014). Donde es necesario involucrar un modelo que conduzca la mejora, un modelo de referencia de procesos a seguir y un modelo para la evaluación de procesos (Pino et al., 2006).

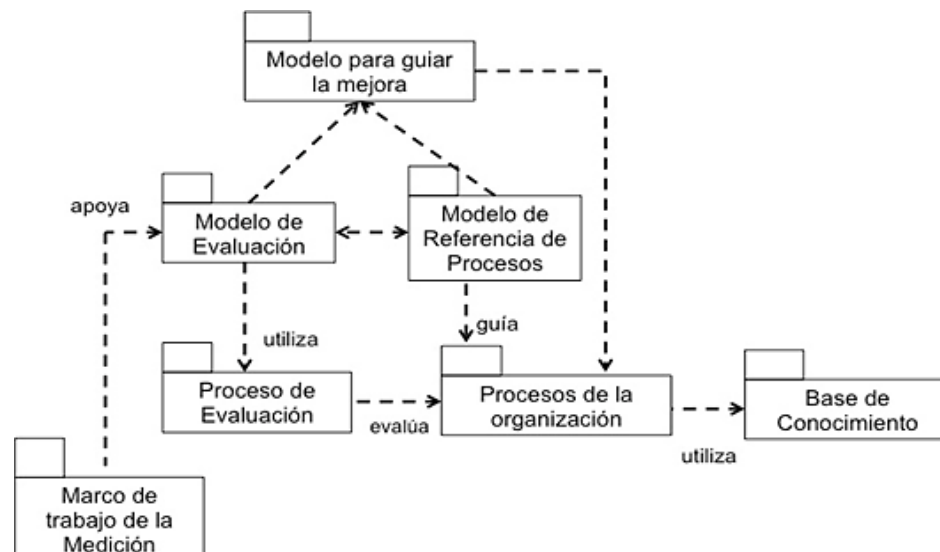


Figura 1.1 Elementos para una implementación y evaluación exitosa en un proyecto SPI.

Primeramente, el modelo que gestiona la mejora describe la infraestructura, actividades, ciclo de vida y consideraciones prácticas para guiar la iniciativa de SPI en la organización.

Posteriormente, el modelo de referencia de procesos describe cuáles actividades son reconocidas como las mejores y buenas prácticas que una organización debe implementar para la producción de software (Oktaba y Piattini, 2008). Por último, el modelo de evaluación de procesos especifica la ejecución de un método de evaluación formal, principalmente cuantitativo, para conocer la capacidad del proceso o la madurez de la organización. Es por ello que la implementación de modelos de referencia de procesos tradicionales tales como ISO 9000, CMM v1., SPICE, en su gran mayoría burocráticos y orientados a grandes organizaciones, resulta difícil de implementar en organizaciones de software, en su mayoría micro y pequeñas (Pardo et al., 2009).

Por otro lado, los autores Pardo, Hurtado y Collazos (2009) han identificado los requerimientos mínimos que debería tener un proyecto de SPI, como lo muestra la Tabla 1.1 en la serie R_i , $i=1, \dots, 4$.

- R_1 expresa la realización de los procesos organizacionales, donde están modelados los procesos cotidianos que ejecuta el equipo de trabajo.
- R_2 describe que debe existir un modelo que guía la mejora.
- R_3 presenta la importancia de que exista un proceso que evalúa ese modelo de mejora.
- R_4 hace hincapié en la importancia de contar con una base de conocimiento.

Tabla 1.1 Requerimientos básicos de un proyecto SPI.

Requerimiento	Descripción
R_1	Un equipo de trabajo efectivo para producir buenos resultados debido a la ejecución de los procesos.
R_2	Un modelo para guiar la mejora, el cual deberá ser incremental en términos de factibilidad de implementarse inicialmente con poco esfuerzo y luego ser extendido incrementalmente mediante ciclos cortos que coincidan con los ciclos de desarrollo de los proyectos a los cuales se apliquen.
R_3	Un proceso de evaluación que deba proveer resultados rápidos, objetivos y tangibles de tal forma que pueda justificarse su constante aplicación.
R_4	Utilizar tecnologías de información existentes y probadas en este campo de aplicación, para contar con un repositorio, base de conocimiento que permita la identificación y seguimiento de la evidencia en la ejecución de las actividades o de los productos (artefactos) generados por el proyecto.

Todos los elementos anteriormente mencionados convergen en la Figura 1.1 propuesta por (Flores Ríos et al., 2014) mostrando que dichos elementos tienen un impacto en las evaluaciones exitosas.

1.2 Planteamiento del Problema

En el año 2007, la Revista Software Guru con el apoyo de la Asociación Mexicana para la Calidad en la Ingeniería de Software y del Tecnológico de Monterrey, convocaron a las empresas mexicanas dedicadas al desarrollo de software a realizar una encuesta, con el propósito de identificar el nivel de conocimiento de dichas organizaciones en modelos de calidad de software.

Tabla 1.2 Conocimiento de los modelos de calidad del proceso y producto en empresas desarrolladoras de software.

Proceso	% de Empresas
CMM/CMMI	36%
MoProSoft	24%
Ninguno	21%
ISO/IEC 12207	4%
ISO/IEC 15504	4%
ISO 9001-2000	4%
<i>SUBTOTAL</i>	93%
Productos de Software	
ISO/IEC 9126	4%
MECA	2%
Otro	1%
<i>SUBTOTAL</i>	7%

Se consideró de una población total de 1243 empresas registradas por el Directorio de Empresas de Tecnologías de Información (DETI), una muestra de 114 empresas para ser encuestadas sobre los modelos de calidad, tanto de proceso como de producto software (Tabla 1.2). Concluyendo en que las empresas poseen mayor conocimiento de las normas y modelos internacionales (CMMI, ISO/IEC 12207, ISO/IEC 15504, ISO 9001-2000) correspondiendo al 48%, a diferencia del modelo de referencia nacional (MoProSoft) con un 24%. De manera que, en relación con el resto de la población, las empresas mexicanas de desarrollo de software poseen un conocimiento reducido de los modelos de calidad de software y desconocen los métodos específicos para evaluar la calidad de su producto. Aunado a que los diferentes estándares y modelos de procesos de software, como el Capability Maturity Model Integration (CMMI por sus siglas en inglés), ISO/IEC 15504, ISO/IEC 12207:2004, NMX-I-059-NYCE-2011 y COMPETISOFT (Pino et al., 2006), no plantean técnicas, herramientas o algoritmos para extraer, de manera adecuada, la información o el conocimiento existente en sus registros. Se presenta una necesidad por adoptar no solo modelos o estándares que permitan elevar la capacidad de los procesos para ofrecer servicios y productos con calidad y alcanzar niveles internacionales de competitividad (Gutierrez-Gasca et al., 2008), si no también aprender técnicas para aprovechar el conocimiento que se genera.

Uno de los modelos de referencia de procesos con alcance internacional es CMMI-DEV v1.3, el cual utiliza como evidencia de la implantación de las áreas de procesos la revisión de la ejecución de las prácticas, artefactos y entrevistas dirigidas a los roles involucrados. Así mismo, se ha probado que CMMI puede ser implementado no sólo en grandes organizaciones, sino también por Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) (Oktaba y Piattini, 2008; Lester et al., 2010) obteniendo una ventaja competitiva en el mercado internacional.

Desde el año 2007 hasta 2015, el crecimiento de algunos países en evaluaciones de CMMI (SCAMPI por las siglas en inglés, *Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement*) ha sido significativo, en la Tabla 1.3 se aprecia como China es el país con el mayor número de evaluaciones entregadas, 4908 evaluaciones en total, de todas las constelaciones de CMMI, las cuales incluyen ACQ (*CMMI for Acquisition*), DEV (*CMMI for Development*), P-CMM (*People CMMI*), SVC (*CMMI for Services*). En lo que se refiere a México, es considerado a nivel mundial como un competidor fuerte dentro de la industria de software, por su cercanía con EE. UU. y el impacto que tiene la cultura organizacional. Al finalizar el año de 2015, México contaba con 458 certificaciones distribuidas entre 219 organizaciones, convirtiendo al país en el sexto lugar en el mundo con mayor número de evaluaciones en este modelo.

Tabla 1.3 Países con mayor número de entregas de SCAMPI A desde 2007 hasta 2015 (CMMI Institute, 2015).

País	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
China	218	317	495	517	521	566	647	732	895	4908
Estados Unidos	450	397	467	434	392	411	395	379	483	3808
India	137	110	146	143	151	156	209	206	207	1465
Japón	65	76	51	60	61	50	49	39	33	484
España	46	34	81	44	66	56	46	52	51	476
México	28	23	38	43	37	56	73	70	90	458
República de Corea	24	32	31	35	46	46	33	48	43	338
Reino Unido	47	50	44	50	46	25	19	19	25	325
Brasil	31	29	40	46	31	26	39	40	28	310
Alemania	46	39	27	40	45	26	42	20	16	301

De manera que para los años del 2011 al 2015, las evaluaciones por nivel de madurez (Tabla 1.4 Evaluaciones por nivel de madurez en los años 2011 al 2015 (CMMI Institute). Tabla 1.4) presentaron una mayor concentración en el Nivel 3 de madurez, donde el proceso está definido, y es repetible, más no es cuantificable. El número de áreas de procesos en una representación escalonada del modelo CMMI-DEV se incrementa en función al nivel de madurez. De esta forma, de 7 áreas para un nivel 2 aumenta a 18 áreas para un nivel 3. Esto representa para el equipo de

mejora una mayor complejidad y esfuerzo en la exploración y explotación de los registros generados por la evidencia de las 18 áreas de procesos (Velazquez-Solis et al., 2016).

Tabla 1.4 Evaluaciones por nivel de madurez en los años 2011 al 2015 (CMMI Institute).

Año	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
2015	221	1,446	50	176
2014	199	1,195	58	150
2013	246	1,101	42	115
2012	261	1,018	21	98
2011	279	910	30	95

Por consiguiente, en un programa SPI basado en CMMI, a partir de un nivel 3 de madurez cualquier organización desarrolladora de software, se enfrenta a problemas asociados a la complejidad en el manejo de la gran cantidad de información generada por las evidencias de la ejecución de las actividades de las áreas de procesos asociados a los proyectos de desarrollo. Esta problemática más la falta de experiencia por parte del equipo de mejora de procesos en el uso de técnicas o algoritmos para la explotación de información, hace evidente la necesidad de capacitar o implementar técnicas que permitan a las organizaciones tener más visibilidad en la ejecución de las actividades, para así concentrarse en aquellas que ayuden a satisfacer los objetivos del negocio y aspirar a niveles superiores del modelo de referencia. (Velazquez-Solis et al., 2016). Además, de descubrir, identificar y proponer nuevas reglas de negocio (Orellana et al., 2015).

1.3 Justificación

Desde el 2002, México ha venido impulsando la estrategia de implantación de CMMI. Después de más de una década, el programa PROSOFT 3.0 tiene como misión fortalecer el sector de Tecnología de Información (TI) que incremente la productividad y capacidad para innovar otros sectores. Por medio de este programa, las empresas y organizaciones de la industria de software, deben de evidenciar en su portafolio de servicios, certificaciones o verificaciones oficiales para un nivel de madurez tecnológico (Fondos PROSOFT, 2016), asociados en su mayoría a niveles 2 y 3 de madurez en CMMI-DEV v1.3 o CMMI-SVC.

El gobierno mexicano identificó las ventajas de la ubicación geográfica del país, y el perfil demográfico de su población en la formulación de estrategias de desarrollo para consolidar al sector de desarrollo de la industria de software de manera competitiva dentro del marco económico nacional e internacional (Casalet, 2007). Desde 2004, la industria manufacturera informática se concentró regionalmente en los estados de la frontera norte y occidente del país: Baja California (B.C.), Chihuahua, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas y Jalisco (AMITI, 2003).

Actualmente se cuenta con 180 centros de desarrollo certificados en CMMI-DEV (Secretaría de Economía, 2016). Entre los años 2014 al 2017, se identificaron 17 organizaciones certificadas en los estados de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, Nuevo León, Chihuahua, Sonora y Ciudad de México con nivel 5 de madurez para CMMI-DEV v1.3 (CMMI Institute, 2017). Esta última, representa el 52% de las organizaciones. El nivel 5 de madurez significa que 17 organizaciones fueron evaluadas en 22 áreas de procesos, comprobando que sus proyectos de desarrollo de software están alineados a procesos optimizados e innovados.

La Minería de Procesos es una disciplina que permite descubrir, monitorear y mejorar los procesos identificados en los sistemas de información que poseen las organizaciones a partir de sus registros (Van der Aalst, 2011). Los algoritmos para la Minería de Procesos son totalmente aplicables para los procesos de software, debido a que muestran un comportamiento similar con el modelo del proceso tal y como se define. La finalidad de aplicar algoritmos de Minería de Procesos es la extracción de información a partir de las herramientas de software, con el objetivo de generar modelos de procesos para auditar, analizar y mejorar los procesos existentes. (Akman, 2009).

Como se presenta en la Figura 1.2, el autor Rubin (2011) realiza la propuesta de introducir en el proceso de desarrollo de Software las técnicas de Minería de Procesos. Afirmando que la información que requiere como entrada el modelo de procesos de software (para este trabajo CMMI for Development v1.3) generaría la información necesaria dentro de los repositorios para posteriormente, ser analizada por técnicas de Minería de Procesos. De esta forma, se crea un ciclo que conduce a la mejora de los procesos organizacionales.

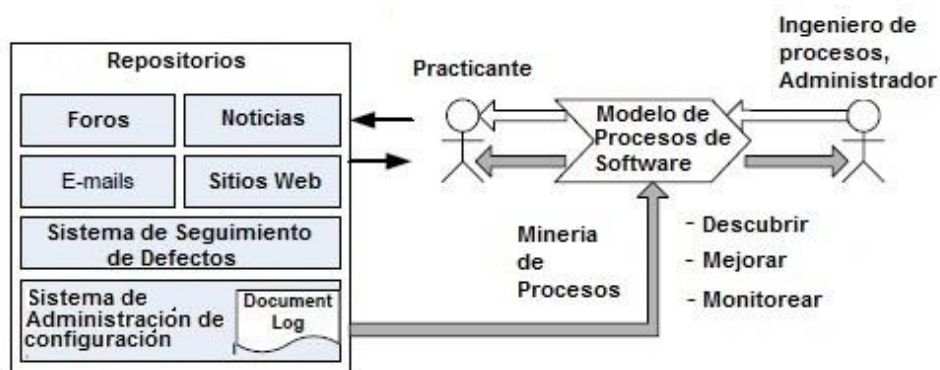


Figura 1.2 Proceso de Desarrollo de Software centrado en el entorno de Minería de Procesos.

Desde la perspectiva de la Minería de Procesos, los flujos de trabajo están incluidos implícitamente en cada registro asociado a cada uno de los procesos de la organización, permitiendo de esta manera realizar el descubrimiento, la mejora y el monitoreo de los

procesos a través de la aplicación de herramientas de software para el análisis de datos dependiendo del ciclo de mejora y/o el nivel de madurez al que desee llegar la organización de software.

En este sentido, este trabajo está orientado a las características particulares de la industria de software mexicana, con el propósito de implementar técnicas de Minería de Procesos en los registros de eventos generados por programas SPI basados en CMMI-DEV v1.3, para las áreas de procesos relacionadas a la gestión de proyectos. Dicha aportación se valida con la afirmación de Valle et al. (2014), quienes comentan que la Minería de Procesos apoyaría a realizar las evaluaciones con mayor cobertura y confiabilidad, cuantificando los resultados obtenidos mientras se mantiene menores costos y esfuerzos.

1.4 Objetivo General

Se ha definido como objetivo general, desarrollar escenarios de prueba correspondientes a las áreas de procesos Planificación del Proyecto (PP) y Monitoreo y Control del Proyecto (PMC) del modelo de referencia CMMI-DEV v1.3 en un nivel 2 de madurez y generar registros de eventos para demostrar que al implementar técnicas de Minería de Procesos mediante dos tipos de herramientas, se logra representar una trazabilidad.

1.5 Objetivos Específicos

1. Identificar los elementos de las áreas de procesos PP y PMC del modelo CMMI-DEV v1.3 con un nivel 2 de madurez relacionados con gestión de proyectos de software que sean necesarios para generar los escenarios de prueba y registros de eventos sintéticos.
2. Aplicar los algoritmos o técnicas relacionados a la Minería de Procesos, integrados a una herramienta académica y una de uso comercial en los registros de eventos sintéticos para realizar una validación empírica contra los escenarios de prueba.

1.6 Metodología

Para dar cumplimiento con los objetivos específicos se han definido cuatro fases (Figura 1.3):

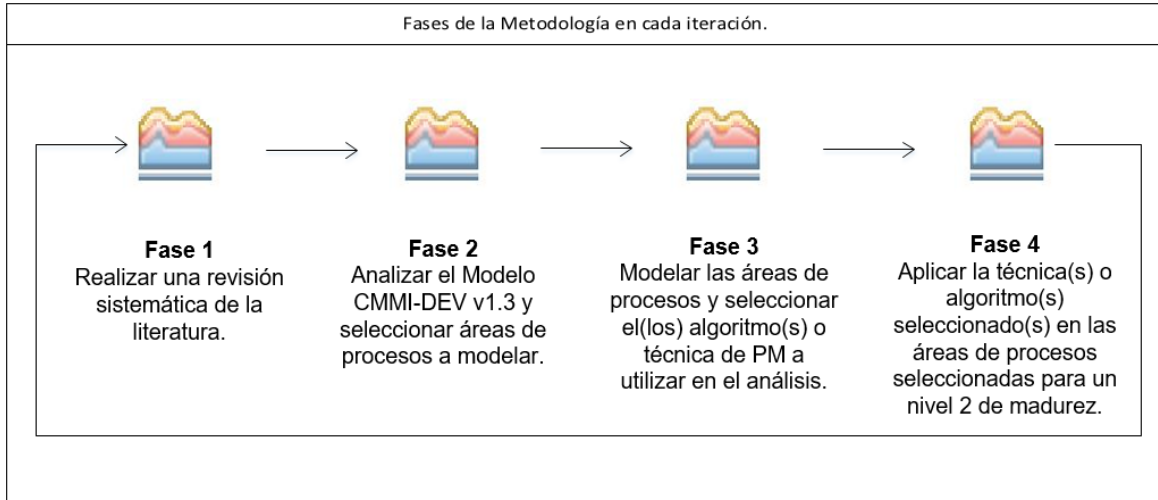


Figura 1.3 Diagrama mostrando la Metodología, modelado en SPEM (*Software Process Engineering Metamodel*) 2.0

En la Fase 1 se realiza un mapeo sistemático de la literatura (Kitchenham, 2007) sobre trabajo relacionado durante los últimos diez años. Esta se realizará con el apoyo de las principales fuentes de información con enfoque técnico-científico.

En la Fase 2 se analiza el modelo de referencia de procesos CMMI-DEV v1.3. Se revisan y seleccionan los componentes de las áreas de procesos seleccionadas en una representación (escalonada) para un nivel de capacidad de procesos. Los componentes del modelo CMMI se deben tratar desde una perspectiva informacional (representado por los productos de trabajo) y funcional (representada por las etiquetas requerida y esperada). Sin embargo, en CMMI no existe el concepto de rol pero si se considera de importancia el término de *people* (personas); por lo que en este trabajo se estudia este recurso debido a que se considera de relevancia el tipo y nivel de conocimiento requerido por el responsable o equipo de procesos para la mejora continua de los procesos de software.

En la Fase 3 se seleccionan los algoritmos o tipos de técnicas de Minería de Procesos que apoyen en gran medida a la resolución de la problemática de este trabajo. El autor Rubin (2007) señala al descubrimiento, mejoramiento y monitoreo como tipos de Minería de Procesos e identifica las perspectivas de recursos, de ejecución y de información como elementos importantes dentro de un proceso. Por otro lado, expone tres de los algoritmos existentes para modelar procesos bajo la Minería de Procesos: heurístico, genético y difuso.

En la Fase 4 se aplican los algoritmos y las técnicas de Minería de Procesos con las áreas de procesos y nivel 2 de madurez. Se retroalimentan los resultados por cada área de proceso y se valida de forma empírica al realizar una segunda iteración y comparar los resultados.

1.7 Estructura del documento

A continuación, se presenta la estructura del documento de tesis:

En el Capítulo 2 se contextualiza del modelo de referencia CMMI-DEV v1.3.

En el Capítulo 3 se presentan los pasos y resultados de la revisión sistemática de la literatura sobre el trabajo existente, donde se enfatizan los hallazgos sobre la disciplina Minería de Procesos, principios básicos y disciplinas antecesoras, para lograr distinguir técnicas empleadas, algoritmos y herramientas desarrolladas.

En el Capítulo 4 se identifican los elementos de las áreas de procesos seleccionadas del modelo CMMI-DEV v1.3, se presentan los modelos de los escenarios con un flujo ideal y se generan los registros de eventos sintéticos.

En el Capítulo 5 se realiza el análisis de los resultados al aplicar las técnicas y algoritmos de Minería de Procesos para realizar una validación empírica de la gestión de proyectos.

Finalmente, el Capítulo 6 presenta las conclusiones sobre el impacto de la disciplina en la multidisciplinariedad detectada, aportaciones de la investigación y trabajo futuro.

Dentro del apartado de Anexos se dejan los registros de eventos creados sintéticamente y con los cuales se realizaron los experimentos.

Capítulo 2. Modelo de Capacidad de Madurez

Un programa SPI permite orientar a las organizaciones en la implementación, evaluación y mejora de sus procesos (Niazi et al., 2005). El principal enfoque de SPI está basado en el modelo, el cual compara los procesos de la organización con un modelo de referencia de procesos y utiliza una evaluación SPI para identificar debilidades y posibles opciones de mejora, un ejemplo del enfoque SPI basado en modelos es el CMMI (Vasconcellos et al., 2017).

Para la implementación de un programa SPI las etapas a realizar son: 1) Diagnóstico de procesos actual de la organización en función de los requisitos normativos a través de la evaluación y la correspondencia de los procesos de la organización con el modelo de referencia; 2) Establecimiento de la estrategia de implantación con base en las necesidades de mejora identificadas en la evaluación diagnóstico y la definición del número de ciclos de mejora para cumplir con el nivel de madurez de la organización definido en su alcance; y 3) Evaluación de los resultados obtenidos y mejora de los procesos implantados (Flores Rios et al., 2014).

De esta forma, un proyecto SPI basado en CMMI significa una estrategia formal para las organizaciones de software logren una implementación exitosa del modelo (Coleman y O'Connor, 2008) y aporten importantes beneficios para ellas, como el incremento de la satisfacción del cliente, la eficiencia del proceso de desarrollo y la definición y cumplimiento de los objetivos de calidad (Durón del Villar y Muñoz-Mata, 2013).

Existen organizaciones que aún enfrentan desafíos en la implementación de SPI basados en CMMI (Niazi, 2015), entre ellos la necesidad de contar con herramientas de software como un soporte valioso para el equipo de implementación, evaluación o equipo de mejora permitiéndoles recopilar, registrar clasificar y evaluar la evidencia sobre todo cuando el volumen y complejidad de la información son significativos (NYCE, 2010; Astorga et al., 2014). Otro desafío para las organizaciones es el mantener actualizados sus procesos de acuerdo a los flujos de trabajo reales con los que operan (Van der Aalst, 2011).

2.1 Antecedentes

En 1986, el Instituto de Ingeniería de Software (*Software Engineering Institute, SEI por sus siglas en inglés*) de la Universidad Carnegie Mellon en asociación con la Corporación Mitre comenzaron a desarrollar un modelo multinivel basado en los modelos de mejora de

procesos. El resultado lo llamaron Modelo de Madurez de la Capacidad (*Capability Maturity Model, CMM por sus siglas en inglés*).

El modelo original CMM fue el modelo de madurez utilizado para resaltar las capacidades de desarrollo de software de una organización para entregar las aplicaciones a tiempo, dentro de los costos y cumpliendo con las expectativas y requerimientos del cliente. Sus éxitos comprobados dieron origen a los modelos basados en CMM para mejorar los procesos de ingeniería, en 1998 estos modelos fueron rápidamente adoptados por el gobierno de EEUU y el SEI para llegar al proyecto de CMMI, que en una única estructura pretende mejorar multidisciplinariamente los procesos de una organización. De esta forma, el modelo CMMI mide la capacidad del proceso de una organización, que no es más que la capacidad que tiene el proceso de obtener los resultados planeados. A medida que la capacidad del proceso aumenta, el resultado llega a ser predecible y medible y la mayoría de las causas de disminución de la calidad y productividad son controladas o eliminadas.

Se entiende entonces, que un modelo CMM incluyendo CMMI, es una representación simplificada de la organización. Los modelos CMMI se orientan en el desarrollo de procesos generados a partir del marco CMMI. Este marco contiene todas las metas y prácticas que se utilizan para producir los modelos CMMI que pertenecen a las constelaciones CMMI. Una constelación es una colección de componentes utilizados para construir modelos, materiales de capacitación y evaluación en un área de interés. Hasta la fecha existen tres constelaciones publicadas:

- CMMI-DEV (*Development*) publicada en agosto del 2006 y sirve como guía para medir, monitorear y administrar el proceso de desarrollo y mantenimiento de productos y servicios.
- CMMI-ACQ (*Acquisition*) publicada en noviembre del 2007 y sirve como guía para mejorar el proceso de adquisición de productos y servicios.
- CMMI-SVC (*Services*) publicada en febrero del 2009 y sirve como guía para proporcionar servicios internos en una organización y a clientes externos.

Inicialmente, CMMI era un modelo que combinaba tres modelos fuente: El SW-CMM, el Systems Engineering Capability Model y el Integrated Product Development Capability Maturity Model. Estos tres modelos fueron seleccionados debido al éxito en su adopción o por su prometedor enfoque para mejorar procesos en organizaciones. El primer modelo CMMI fue diseñado para usarse por organizaciones de desarrollo, CMMI para Desarrollo (CMMI-DEV) busca la mejora de procesos para toda la empresa. En el año 2002 se publicó la versión 1.1 y cuatro años después se publicó la 1.2. Desde el año 2010 se ha utilizado la versión 1.3.

2.2 CMMI-DEV Versión 1.3

El modelo de referencia CMMI para Desarrollo, contiene prácticas que cubren la gestión de proyectos, la gestión de procesos, la ingeniería de sistemas, la ingeniería de hardware, la ingeniería de software y otros procesos de soporte utilizados en el desarrollo y mantenimiento.

Todos los modelos CMMI contienen las 16 áreas de proceso base. Estas áreas de proceso cubren los conceptos básicos que son fundamentales para la mejora de procesos en cualquier área de interés (es decir, adquisición, desarrollo, servicios).

2.2.1 Áreas de Proceso

Un área de proceso es un grupo de prácticas relacionadas dentro de un área que, cuando se implementan conjuntamente, satisface un conjunto de metas consideradas importantes para mejorar esa área. Como se presenta en la Figura 2.1, tenemos diferentes componentes dentro de cada área de proceso del modelo CMMI.

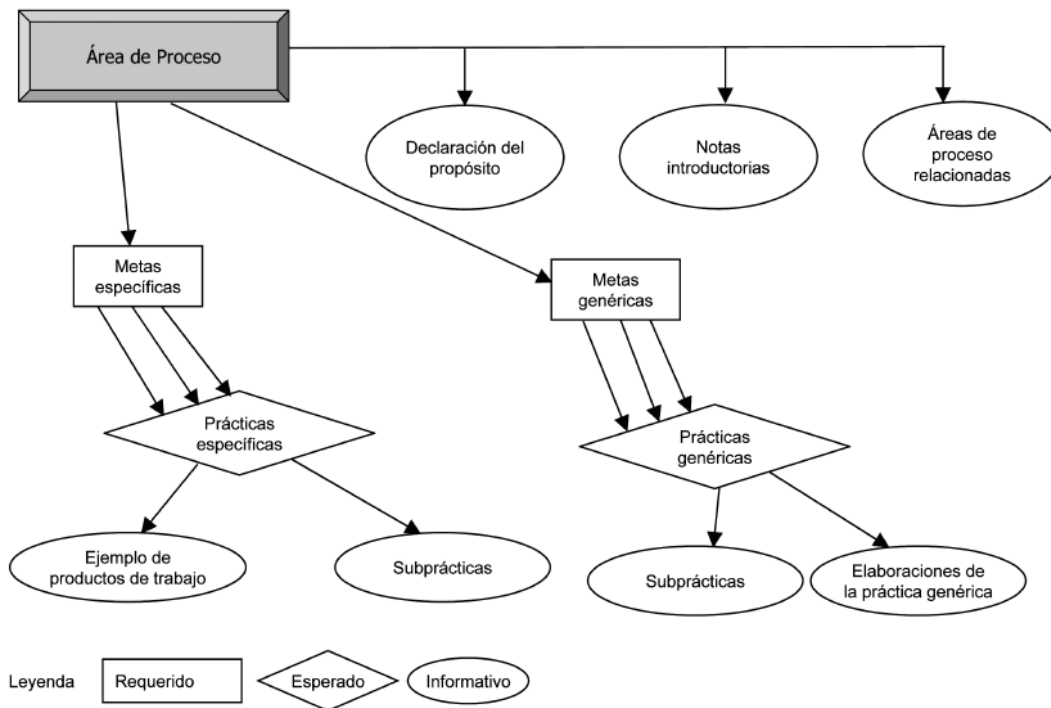


Figura 2.1 Componentes del modelo CMMI-DEV v1.3.

Los componentes del modelo se agrupan en tres categorías:

- Los componentes requeridos son componentes CMMI que son esenciales para lograr la mejora de procesos en un área de proceso dada.

- Los componentes requeridos en CMMI son las metas específicas y genéricas. La satisfacción de las metas se utiliza en las evaluaciones como base para determinar si un área de proceso ha sido satisfecha.
- Los componentes esperados son componentes CMMI que describen las actividades que son importantes para lograr un componente CMMI requerido.

Los componentes esperados en CMMI son las prácticas específicas y genéricas. Los componentes informativos son componentes CMMI que ayudan a los usuarios del modelo a comprender los componentes CMMI requeridos y esperados. El material informativo juega un papel importante en la comprensión del modelo.

Tabla 2.1 Áreas de procesos en CMMI-DEV v1.3.

Abrev.	Área De Proceso	Categoría	Nivel de Mad.
CAR	Análisis y resolución de problemas	Soporte	5
CM	Gestión de la configuración	Soporte	2
DAR	Análisis y resolución de decisiones	Soporte	3
IPM	Gestión integrada del proyecto	Gestión de Proyectos	3
MA	Medición y análisis	Soporte	2
OPM	Gestión del desempeño de la organización	Gestión de Procesos	5
OPD	Definición de procesos organizacionales	Gestión de Procesos	3
OPF	Enfoque organizacional en el proceso	Gestión de Procesos	3
OPP	Desempeño procesos organizacionales	Gestión de Procesos	4
OT	Capacitación organizacional	Gestión de Procesos	3
PI	Integración del producto	Ingeniería	3
PMC	Monitoreo y control del proyecto	Gestión de Proyectos	2
PP	Panificación del proyecto	Gestión de Proyectos	2
PPQA	Aseguramiento de la calidad procesos y productos	Soporte	2
QPM	Gestión cuantitativa de proyectos	Gestión de Proyectos	4
RD	Desarrollo de requisitos	Ingeniería	3
REQM	Gestión de requisitos	Ingeniería	2
RSKM	Gestión de riesgos	Gestión de Proyectos	3
SAM	Gestión de acuerdo con proveedores	Gestión de proyectos	2
TS	Solución técnica	Ingeniería	3
VAL	Validación	Ingeniería	3
VER	Verificación	Ingeniería	3

La Tabla 2.1 muestra las 22 áreas de procesos que contiene la versión 1.3 de CMMI. Cada una de las áreas de procesos corresponde a una categoría específica y a un nivel de madurez. Para dar soporte las áreas de procesos se organizan en cuatro categorías: Gestión de Procesos, Gestión de Proyectos, Ingeniería y Soporte. Estas categorías hacen hincapié en algunas de las relaciones clave que existen entre las áreas de proceso. Cada componente brinda información sobre el área de proceso, como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Componentes de las áreas de procesos.

Nombre	Descripción	Tipo de Componente
Declaraciones del Propósito	Describe la finalidad del área de proceso.	Informativo
Notas Introdutorias	La sección de notas introductorias del área de proceso describe los conceptos principales cubiertos por el área de procesos.	Informativo
Áreas de proceso relacionadas	La sección enumera las referencias a áreas de proceso relacionadas y refleja las relaciones de alto nivel entre las áreas de proceso.	Informativo
Metas específicas	Se describen como las características únicas que deben estar presentes para satisfacer el área de un proceso. Se utiliza en las evaluaciones para ayudar a determinar si se satisface un área de proceso.	Requerido
Metas Genéricas	Se denominan así porque la misma declaración de la meta se aplica a múltiples áreas de proceso. Una meta genérica describe las características que deben estar presentes para institucionalizar los procesos que implementan un área de proceso.	Requerido
Resúmenes de metas y prácticas específicas	El resumen de metas y prácticas específicas proporciona un resumen de alto nivel de las metas específicas y de las prácticas específicas	Informativo
Prácticas Específicas	Es la descripción de una actividad que se considera importante para lograr la meta específica asociada.	Esperado
Ejemplo de productos de trabajo	Enumera resultados de muestra de una práctica específica.	Informativo
Subprácticas	Una subpráctica es una descripción detallada que proporciona orientación para interpretar e implementar una práctica específica o genérica.	Informativo
Prácticas Genéricas	Son prácticas que se aplican a múltiples áreas de proceso. Están asociadas con una meta genérica, describen actividades que se consideran importantes para lograr la meta genérica y contribuir a la institucionalización de los procesos asociados con un área de proceso.	Informativo
Elaboraciones de la práctica genérica	Son para orientar en la forma en que se aplican, de forma única, las prácticas genéricas a las áreas de proceso.	Informativo

2.2.2 Estructuras de las representaciones

Las diferencias entre las estructuras son sutiles pero significativas como se aprecia en la Figura 2.2. En el modelo CMMI se tienen dos representaciones: Continua y escalonada, que no son equivalentes, y cada organización puede optar por adoptar la que se adapte a sus características y prioridades de mejora (Larrondo-Petrie et al., 2009). Estos dos caminos de mejora están asociados con los dos tipos de niveles: niveles de capacidad y niveles de madurez.

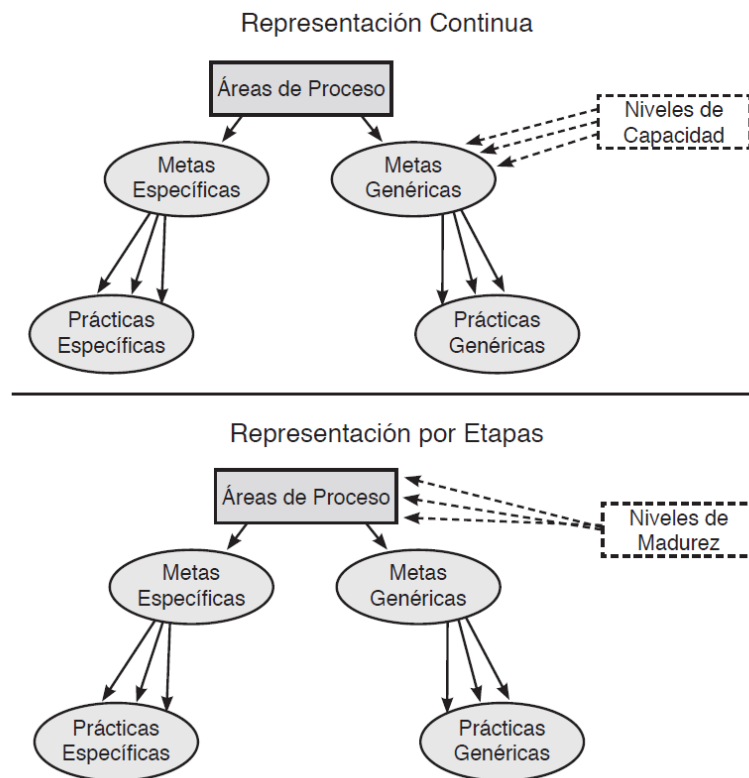


Figura 2.2 Estructuras de las representaciones del modelo CMMI continua y escalonada.

Tabla 2.3 Comparación de los niveles de capacidad y de madurez.

Nivel	Representación Continua Niveles de Capacidad	Representación Escalonada Niveles de Madurez
Nivel 0	Incompleto	
Nivel 1	Realizado	Inicial
Nivel 2	Gestionado	Gestionado
Nivel 3	Definido	Definido
Nivel 4		Gestionado Cuantitativamente
Nivel 5		En optimización

Los niveles de capacidad se refieren a la consecución de la mejora de procesos de una organización en áreas de procesos individuales, basándose en el cumplimiento de las metas genéricas; mientras los niveles de madurez se refieren a la consecución de la mejora de los procesos de una organización en múltiples áreas de procesos. La Tabla 2.3 compara los cuatro niveles de capacidad con los cinco niveles de madurez. Observe que los nombres de dos de los niveles son los mismos en ambas representaciones (es decir, Gestionado y Definido). Las diferencias son que no existe nivel de madurez 0, no hay niveles de capacidad 4 y 5, y en el nivel 1, los nombres utilizados en el nivel de capacidad 1 y nivel de madurez 1 son diferentes (CMMI for development Technical Report, 2010).

El Modelo escalonado o centrado en la madurez de la organización es un modelo para software que establece 5 niveles de madurez para clasificar a las organizaciones, en función de que áreas de procesos consiguen sus objetivos y se gestionan con principios de Ingeniería. La visión escalonada definirá a la organización dándole en su conjunto un nivel de madurez del 1 al 5.

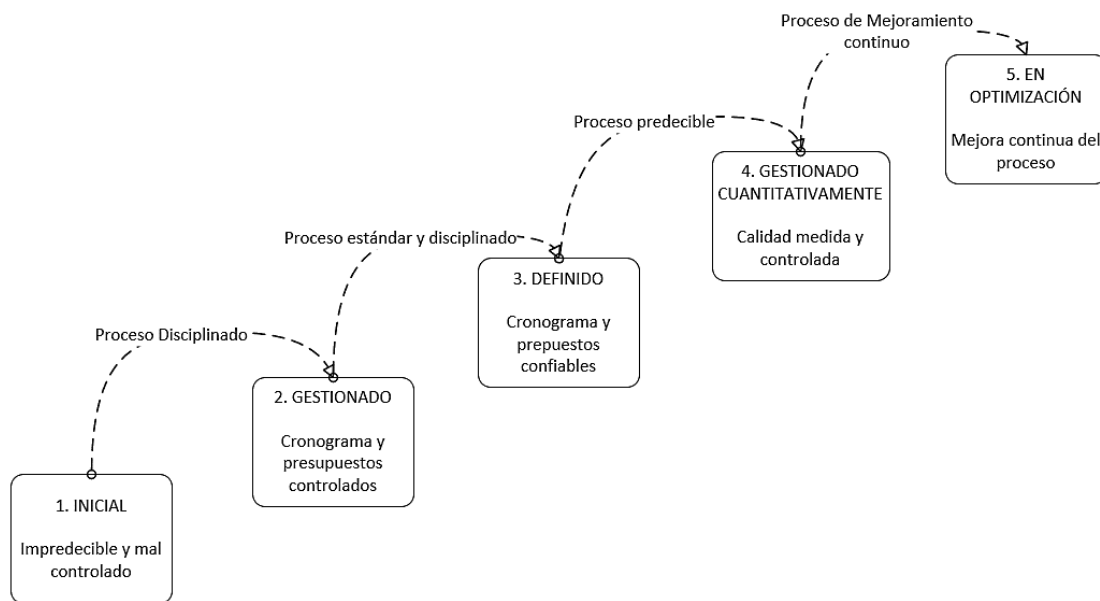


Figura 2.3 Los cinco niveles de madurez del modelo CMMI representación escalonada

La Figura 2.3 muestra la progresión de los niveles, así como la madurez que va adquiriendo con cada nivel el proceso, desde un proceso disciplinado al obtener un nivel 2 de madurez, hasta un proceso en mejoramiento continuo con el nivel 5 de madurez. Los niveles de madurez se utilizan para caracterizar la mejora de la organización relativa a un conjunto de áreas de proceso.

En el nivel de madurez 1 (Inicial), los procesos son generalmente ad hoc y caóticos. La organización generalmente no proporciona un entorno estable para dar soporte a los procesos. El éxito en estas organizaciones depende de la competencia y la heroicidad del personal de la organización y no del uso de procesos probados.

En el nivel de madurez 2 (Gestionado), se garantiza que en los proyectos los procesos se planifican y ejecutan de acuerdo con las políticas; los proyectos emplean personal cualificado que dispone de recursos adecuados para producir resultados controlados; se involucra a las partes interesadas relevantes; se monitorizan, controlan y revisan; y se evalúan en cuanto a la adherencia a sus descripciones de proceso.

En el nivel de madurez 3 (Definido), los procesos están bien caracterizados y comprendidos, y se describen en estándares, procedimientos, herramientas y métodos. El conjunto de procesos estándar de la organización, que es la base del nivel de madurez 3, se establece y se mejora a lo largo del tiempo. Estos procesos estándar se utilizan para establecer la integridad en toda la organización. Una diferencia crítica entre los niveles de madurez 2 y 3 es el alcance de los estándares, descripciones de proceso y procedimientos.

En el nivel de madurez 4 (Gestionado cuantitativamente), la organización y los proyectos establecen objetivos cuantitativos para la calidad y el rendimiento del proceso, y los utilizan como criterios en la gestión de los proyectos. Los objetivos cuantitativos se basan en las necesidades del cliente, usuarios finales, organización e implementadores del proceso. La calidad y el rendimiento del proceso se interpretan en términos estadísticos y se gestionan durante la vida de los proyectos.

En el nivel de madurez 5 (En optimización), una organización mejora continuamente sus procesos basándose en una comprensión cuantitativa de sus objetivos de negocio y necesidades de rendimiento. La organización utiliza un enfoque cuantitativo para comprender la variación inherente en el proceso y las causas de los resultados del proceso. El nivel de madurez 5 se centra en mejorar continuamente el rendimiento de los procesos mediante mejoras incrementales e innovadoras de proceso y de tecnología.

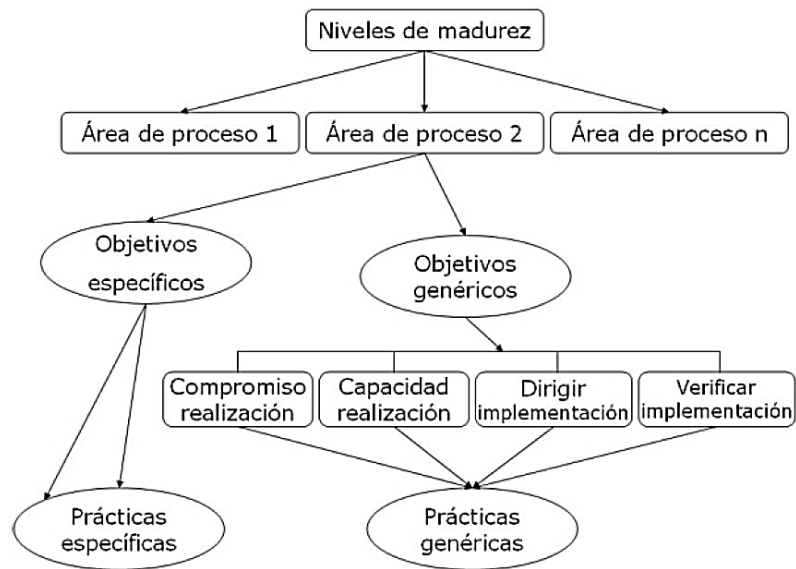


Figura 2.4 Estructura de la representación escalonada del modelo CMMI.

Dentro de cada nivel de madurez de la representación escalonada existe n áreas de proceso que deben ser evaluadas. Como muestra la Figura 2.4 (Palacio, 2006), cada una de las áreas cuenta con un conjunto individual de objetivos o metas específicas y genéricas.

El modelo continuo es un modelo para Ingeniería de Sistemas que establece 6 niveles posibles de capacidad para una de las 22 áreas de proceso. No agrupa los procesos en 5 tramos para definir el nivel de madurez de la organización, si no que directamente analiza la capacidad de cada proceso por separado (Figura 2.5). La visión continua de una organización mostrará la representación de nivel de capacidad de cada una de las áreas de proceso del modelo.

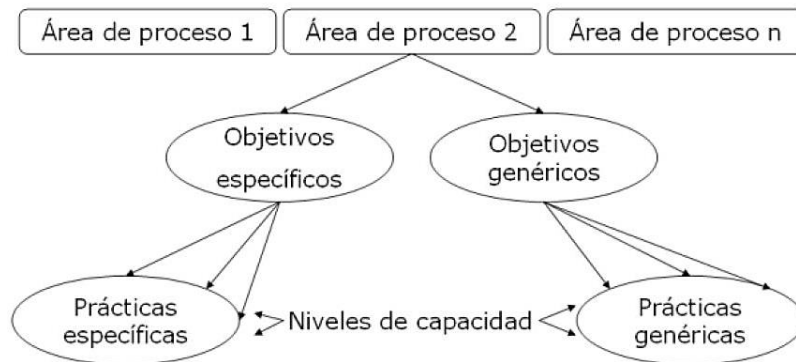


Figura 2.5 Estructura de la representación continua del modelo CMMI.

Se alcanza un nivel de capacidad para un área de proceso cuando se satisfacen todas las metas genéricas hasta ese nivel. Cada área de proceso puede alcanzar un nivel de capacidad de los mencionados en la Tabla 2.3.

- Un proceso incompleto (capacidad 0) es un proceso que, o bien no se realiza, o se realiza parcialmente. Al menos una de las metas específicas del área de proceso no se satisface y no existen metas genéricas para este nivel, ya que no hay ninguna razón para institucionalizar un proceso realizado parcialmente.
- Un proceso de nivel de capacidad 1 se caracteriza como un proceso realizado. Un proceso realizado es un proceso que lleva a cabo el trabajo necesario para producir productos de trabajo. Se satisfacen las metas específicas del área de proceso.
- Un proceso de nivel de capacidad 2 se caracteriza como un proceso gestionado. Un proceso gestionado es un proceso realizado que se planifica y ejecuta de acuerdo con la política; emplea personal cualificado que tiene los recursos adecuados para producir resultados controlados; involucra a las partes interesadas relevantes; se monitoriza, controla y revisa; y se evalúa la adherencia frente a la descripción de su proceso.
- Un proceso de nivel de capacidad 3 se caracteriza como un proceso definido. Un proceso definido es un proceso gestionado que se adapta a partir del conjunto de procesos estándar de la organización de acuerdo a las guías de adaptación de la organización; tiene una descripción de proceso que se mantiene y que contribuye a los activos de proceso de la organización con experiencias relativas a procesos.

2.2.3 Relaciones entre áreas de procesos

Existen relaciones clave entre las áreas de proceso, esto con el propósito de comprender la mejora de procesos desde el punto de vista de la organización y cómo unas áreas de proceso dependen de la implementación de otras áreas de proceso. Las categorías de CMMI- DEV, tienen asignadas áreas de procesos, como muestra la Tabla 2.4, dejando con mayor detalle la descripción de cada una de ellas (Chrissis, 2011). Haciendo particular énfasis en las áreas de proceso básicas de Gestión de Proyectos, tratan las actividades relacionadas con el establecimiento y mantenimiento del plan del proyecto,

el establecimiento y mantenimiento de los compromisos, la monitorización del progreso frente al plan, la toma de acciones correctivas y la gestión de acuerdos con proveedores.

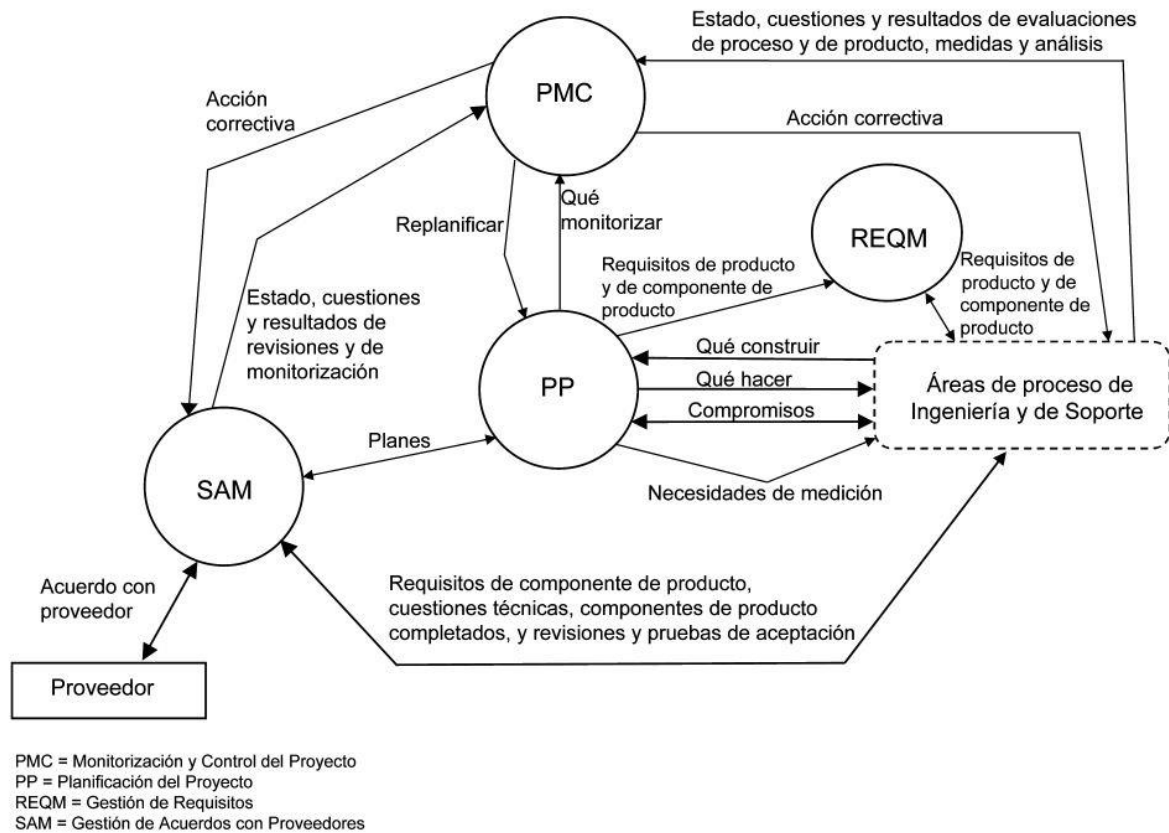


Figura 2.6 Relación entre áreas de procesos básicas de Gestión de Proyectos.

La Figura 2.6 muestra la forma en que se relacionan las áreas de procesos básicas de Gestión de Proyectos, el área de proceso Planificación del Proyecto incluye el desarrollo del plan de proyecto, la involucración de las partes interesadas relevantes, la obtención del compromiso con el plan y el mantenimiento del mismo.

Tabla 2.4 Áreas de procesos relacionadas por categoría.

Nombre	Descripción	Áreas de proceso que contiene
Gestión de Procesos	Las áreas de proceso de Gestión de Procesos contienen las actividades transversales a los proyectos relativas a la definición, planificación, despliegue, implementación, monitorización, control, evaluación, medición y mejora de procesos.	<ul style="list-style-type: none"> • OPD • OPF • OPM • OPP • OT

Gestión de Proyectos	Las áreas de proceso de Gestión de Proyectos cubren las actividades de gestión del proyecto relacionadas con la planificación, monitorización y control del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> • IPM • PMC • PP • QPM • REQM • RSKM • SAM
Ingeniería	Las áreas de proceso de Ingeniería cubren las actividades de desarrollo y de mantenimiento que se utilizan en todas las disciplinas de ingeniería.	<ul style="list-style-type: none"> • PI • RD • TS • VAL • VER
Soporte	Las áreas de proceso de Soporte cubren las actividades que dan soporte al desarrollo y al mantenimiento del producto.	<ul style="list-style-type: none"> • CAR • CM • DAR • MA • PPQA

2.3 Planificación del Proyecto y Monitoreo y Control del Proyecto

La Gestión de Proyectos, se encarga de la planificación, la cual comienza con los requisitos que definen el producto y el proyecto, pensando en el “que construir”; así es como el plan de proyecto cubre las actividades de gestión y desarrollo del proyecto (CMMI for development Technical Report, 2010). El plan de proyecto, se desarrolla en el área de procesos PP, y especifica la frecuencia de las revisiones del progreso y las medidas usadas para monitorizar el progreso. De esta manera, el progreso se determina principalmente mediante la comparación del estado del proyecto con el plan del mismo. Cuando el estado real se desvía de forma significativa de los valores esperados, se toman acciones correctivas según proceda, dichas acciones podrían incluir la re-planificación.

Las áreas de procesos básicas de CMMI para Gestión de Proyectos, como muestra la Figura 2.6, incluyen Planeación de Proyectos (PP), Seguimiento y Control del Proyecto (PMC), Gestión de Acuerdos con Proveedores (SAM) y Gestión de Requisitos (REQM). Sin embargo, el concepto básico de Gestión de Proyectos nos menciona la planificación, así como el seguimiento y control como actividades relativas al establecimiento y mantenimiento del plan de proyecto, establecimiento y mantenimiento de compromisos, seguimiento del proceso frente al plan y la toma de acciones correctivas (Calvo-Manzano et al., 2008).

La planificación del proyecto desempeña un papel clave en la gestión de proyectos y tiene fundamentalmente un propósito: finalizar con éxito un proyecto mediante el establecimiento de un plan que se utiliza como base para su ejecución. Durante la elaboración del plan es esencial subdividir el proyecto en actividades gestionables, programar cada actividad, evaluar los recursos, determinar las responsabilidades de cada actividad y definir el uso de los recursos y el presupuesto por período de tiempo. Por otro lado, el control de la ejecución del plan es lo que posibilita que el proyecto finalice con éxito y consiste en identificar y corregir aquello que no progresa de acuerdo al plan (Presedo et al., 2010).

Una práctica específica (SP) representa una descripción de cada actividad que se considera importante para cumplir con las metas específicas (SG) asociadas con cada área de proceso. Cada área de proceso contiene diferentes Metas y Prácticas Específicas como lo presentan las Tablas 2.5 y 2.6.

Tabla 2.5 Practicas específicas del área de proceso PP.

SG 1 Establecer las estimaciones.	
<i>SP 1.1</i>	Estimar el alcance del proyecto.
<i>SP 1.2</i>	Establecer las estimaciones de los atributos de los productos de trabajo y de las tareas.
<i>SP 1.3</i>	Definir las fases del ciclo de vida del proyecto.
<i>SP 1.4</i>	Estimar el esfuerzo y el coste.
SG 2 Desarrollar un plan de proyecto.	
<i>SP 2.1</i>	Establecer el presupuesto y el calendario.
<i>SP 2.2</i>	Identificar los riesgos del proyecto.
<i>SP 2.3</i>	Planificar la gestión de los datos.
<i>SP 2.4</i>	Planificar los recursos del proyecto.
<i>SP 2.5</i>	Planificar el conocimiento y las habilidades necesarias.
<i>SP 2.6</i>	Planificar la involucración de las partes interesadas.
<i>SP 2.7</i>	Establecer el plan de proyecto.
SG 3 Obtener el compromiso con el plan.	
<i>SP 3.1</i>	Revisar los planes que afectan al proyecto.
<i>SP 3.2</i>	Conciliar los niveles de trabajo y de recursos.
<i>SP 3.3</i>	Obtener el compromiso con el plan.

Tabla 2.6 Practicas específicas de área de proceso PMC.

SG 1 Monitorizar el proyecto frente al plan.	
<i>SP 1.1</i>	Monitorizar los parámetros de planificación del proyecto.
<i>SP 1.2</i>	Monitorizar los compromisos.
<i>SP 1.3</i>	Monitorizar los riesgos del proyecto.
<i>SP 1.4</i>	Monitorizar la gestión de los datos.
<i>SP 1.5</i>	Monitorizar la involucración de las partes interesadas.

<i>SP 1.6</i>	Llevar a cabo las revisiones del progreso.
<i>SP 1.7</i>	Llevar a cabo las revisiones de hitos.
SG 2 Gestionar las acciones correctivas hasta su cierre.	
<i>SP 2.1</i>	Analizar las cuestiones.
<i>SP 2.2</i>	Llevar a cabo las acciones correctivas.
<i>SP 2.3</i>	Gestionar las acciones correctivas.

2.4 Conclusiones del capítulo

Este capítulo presenta cómo está estructurado el modelo de referencia de procesos CMMI-DEV y su método de evaluación SCAMPI. Se determinan que elementos son clave al momento de hacer la trazabilidad a un registro de eventos y se seleccionaron dos áreas de procesos clave para la Gestión de Proyectos, dado que son parte inicial y continua del desarrollo de un proyecto de software. El área de proceso PP está enfocada a la planeación inicial de proyectos de desarrollo de software, mientras que PMC al monitoreo y control del proyecto.

Capítulo 3. Minería de Procesos en prácticas de CMMI

Con el objetivo de proporcionar evidencia empírica que muestre los trabajos publicados hasta el momento sobre la incidencia de la disciplina de la Minería de Procesos en proyectos SPI basados en CMMI, en este capítulo se describen las fases de la Revisión sistemática de la literatura (*Systematic literature review*, SLR por sus siglas en inglés) propuesta por Kitchenham (2007). La metodología SLR propone tres fases: 1) Planificación de la revisión, 2) Realización de la revisión y 3) Presentación de la revisión.

3.1 Planificación de la revisión

Las etapas asociadas con la primera fase son: Identificación de la necesidad de una revisión y el desarrollo de un protocolo de revisión, el cual incluye la creación de las preguntas de investigación.

Preguntas de investigación

Esta fase se centra en la identificación de los hallazgos en la adopción de Minería de Procesos como soporte a proyectos SPI. Se han definido las siguientes preguntas de investigación:

- a) ¿Existen publicaciones sobre la implantación de proyectos SPI usando la Minería de Procesos? y
- b) ¿Cuáles son los principales hallazgos de la adopción de Minería de Procesos en proyectos SPI basados en CMMI?
- c) ¿Qué tipo de calidad de estudios se han publicado para reportar los resultados de la adopción de la Minería de Procesos en proyectos SPI basados en CMMI?

La primera pregunta se refiere a la identificación de evidencia sobre la Minería de Procesos en la implantación de un proyecto SPI independientemente del modelo para llevar a cabo la mejora de procesos o un modelo de referencia de procesos o los métodos de evaluación de procesos a seguir. Las siguientes preguntas hacen hincapié en la identificación de hallazgos, las ventajas y desventajas y tipos de calidad de estudios en la adopción de la Minería de Procesos específicamente con el modelo CMMI.

El objetivo es buscar referencias y publicaciones sobre la Minería de Procesos, sus técnicas y algoritmos utilizados según el tipo de estudio o clasificación (fundamentos teóricos, propuestas, algoritmos, sistemas de información) que han apoyado a un proyecto SPI basado en CMMI. Esta búsqueda se realiza con el apoyo de principales fuentes de información con enfoque técnico-científico, bajo los términos o cadenas de búsqueda claves de Minería de Procesos y procesos de software, durante el periodo 2005-2015.

3.2 Ejecución de la búsqueda

La búsqueda de literatura se realizó en cuatro fuentes electrónicas: Google Scholar, Researchgate, Scopus y Springer. El mapeo sistemático permite identificar, evaluar, interpretar y sintetizar todas las investigaciones existentes y relevantes en un tema de interés particular (Petersen et al., 2008). Las publicaciones más recientes dentro del período de búsqueda seleccionado en revistas especializadas, actas de conferencias e Internet (Kitchenham, 2007). Se utilizó una estructura de búsqueda, basado en conectores de palabras clave y lógica, obteniendo la siguiente cadena de búsqueda: "Process Mining" AND "Software Process Improvement".

En la primera búsqueda, se obtuvieron 18,641 documentos los cuales especifican la definición, los objetivos y propósitos de la Minería de Procesos. Durante 2001 a 2005, los autores (Weijters y van der Aalst, 2001; van der Aalst et al., 2007; Weijters, 2003), dieron las primeras propuestas sobre la Minería de Procesos como una herramienta y/o técnica para analizar cualquier proceso en general. Se encontraron casos de estudio sobre la implementación de la Minería de Procesos en procesos hospitalarios, sistemas industriales y dependencias gubernamentales, reportando que: a) en los sistemas hospitalarios se permitió monitorear la utilización de los recursos, como los implementos quirúrgicos, detectar funcionamientos anómalos, como la desviación, el exceso en el tiempo de estancia de un producto o insumo en el almacén o su ausencia, las variaciones entre la realidad y lo prescrito (Orellana García, Larrea Armenteros y Pérez Alfonso, 2015); b) en los sistemas industriales ha permitido analizar la tramitación de las facturas enviadas por los distintos subcontratistas y proveedores (Verdonk, van Werf, van der Aalst y van Hee, 2010); c) en auditorías en instituciones gubernamentales se logró encontrar violaciones de las normas específicas impuestas por la ley, indicar posibles fraudes, negligencias, riesgos, o ineficiencias (van der Aalst, 2011).

Para segmentar los documentos que asociaran a la Minería de Procesos con SPI se refinó la cadena de búsqueda “process mining” AND “software process improvement”,

obteniendo como resultado 897 documentos. La cadena de búsqueda se adaptó a cada biblioteca electrónica y se restringieron las coincidencias en título, resumen y palabras clave. En el transcurso del 2015, el mayor número de evaluaciones de CMMI-DEV v1.3 corresponden con el nivel de madurez 3 (Definido), lo que indicaría ser el nivel que requiere más esfuerzo, tomando en cuenta el mayor número de áreas de procesos asociadas que se evalúan, sin considerar los niveles inferiores (CMMI Institute, 2015). Se consideraron las publicaciones que incluían las palabras clave: "software process improvement" OR "CMMI-DEV" OR "SCAMPI".

3.3 Filtrado de estudios

Con el fin de identificar los estudios más relevantes, se utilizó el siguiente procedimiento:

- 1) Selección de las palabras clave de la investigación; (palabras usadas)
- 2) Observación en cada biblioteca digital, tratando con las palabras clave de la investigación basadas en los criterios de inclusión y exclusión. Para la selección de los estudios primarios se definieron los siguientes criterios de inclusión: documentos, informes técnicos, artículos técnicos-científicos que presenten la inserción de la Minería de Procesos en SPI. Los trabajos seleccionados tuvieron que ser publicados entre 2005 y 2015 en revistas y conferencias, escrito en idioma Inglés. Se excluyeron aquellos resultados donde sólo se tenía acceso al resumen.
- 3) Análisis de cada documento a través del título y el resumen;
- 4) Descarga de documentos que cubren los criterios de búsqueda;
- 5) Análisis de la introducción y las conclusiones a conciencia, y teniendo una visión rápida del resto de las secciones en un documento. Se aplicó este proceso en cada biblioteca electrónica.

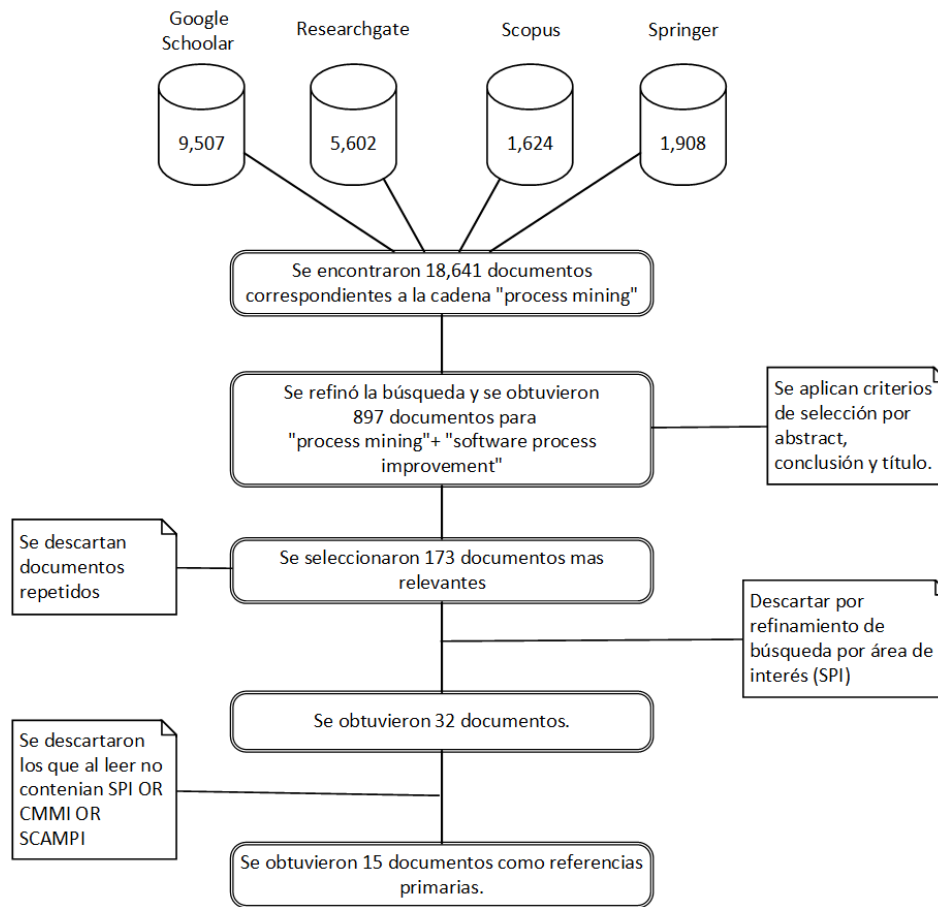


Figura 0.1 Proceso de ejecución de la búsqueda y filtrado de resultados.

Con base en criterios de resumen y título, se aplicó un nuevo filtrado de los estudios reduciendo el número a 173 documentos. Se descartaron los que no consideraban los términos de SPI, CMMI y SCAMPI; así como los documentos que contenían información repetida. Finalmente, se obtuvo un total de 15 documentos (Figura 0.1). En 11 documentos de ellos, se plantea la interdisciplinariedad de la Minería de Procesos aplicada a proyectos SPI. En los 4 restantes, se enfocan específicamente al modelo de referencia de procesos CMMI utilizando la Minería de Procesos como una herramienta para la exploración de la información. Este mapeo sistemático permitió observar que del conjunto seleccionado de 15 documentos finales el 26.66% está relacionado con el objetivo de esta investigación.

3.3.1 Esquema de clasificación

La Figura 0.2 muestra los 15 documentos relevantes (Tabla 0.1) seleccionados los cuales fueron clasificados en: 1) Fundamentos teóricos, 2) Propuestas, 3) Herramientas y

Sistemas de Información y 4) Algoritmos. Partiendo de que desde hace 4 años la Minería de Procesos es una disciplina formal, la categoría 1) Fundamentos teóricos se relaciona con el marco conceptual base para los investigadores y profesionales. La categoría 2) Propuestas contribuye a responder la pregunta de investigación 2 presentada en la sección 3.1. Esta categoría muestra los principales hallazgos de la adopción de la Minería de Procesos en proyectos SPI, específicamente basados en CMMI (Velazquez-Solis et al., 2016).

Los registros de eventos se han explotado con ayuda de herramientas disponibles y se han desarrollado varios sistemas académicos y comerciales (van der Aalst y Van Dongen, 2013) por tal motivo, la categoría 3 se relaciona a la identificación y caracterización de herramientas y sistemas de información. Por último, la categoría 4 se refiere a los algoritmos o tipo de técnicas de Minería de Procesos que apoyan en gran medida a la resolución de la problemática en una organización de desarrollo de software en la exploración y explotación del conocimiento y registro de eventos brindando así la evidencia de la ejecución de actividades en un proyecto SPI implementando CMMI-DEV.

Tabla 0.1 Documentos seleccionados de la revisión de la literatura.

Año	Base de Datos	Autor(es)	Título del Documento	Categoría	Tipo de Documento
2004	ACM Digital Library	W.M.P. van der Aalst and A.J.M.M. Weijters	Process Mining: A Research Agenda	Fundamentos Teóricos	Artículo
2007	ResearchGate	Vladimir Rubin	A Workflow Mining Approach for Deriving Software Process Models	Propuestas	Tesis Doctoral
2008	IEEEExplore	Spiros Papadimitriou Jimeng Sun	DisCo: Distributed Co-clustering with Map-Reduce	Herramientas y Sistemas de Información	Artículo
2009	IEEExplore	B. Akman y O. Demirörs	Applicability of Process Discovery Algorithms for Software Organizations	Fundamentos Teóricos	Artículo
2009	Personal Web Site	Wil M.P. van der Aalst	ProM: The Process Mining Toolkit	Herramientas y Sistemas de Información	Artículo
2010	Springer	Wil M. P. van der Aalst, Maja Pesic y Minseok Song	Beyond Process Mining: From the Past to Present and Future	Fundamentos Teóricos	Artículo
2010	Springer	Wil M.P. van der Aalst	Process Mining, Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes	Fundamentos Teóricos	Book
2011	Springer	Wil M.P. van der Aalst y et al	Process Mining Manifesto	Fundamentos Teóricos	Artículo
2011	ResearchGate	Jordi Riera Cruañas	Process Mining Opportunities for CMMI Assessments	Propuestas	Tesis Doctoral
2013	IEEEExplore	Jianmin Wang, Raymond K. Wong, Jianwei Ding, Qinlong Guo, and Lijie Wen	Efficient Selection of Process Mining Algorithms	Algoritmos	Artículo
2014	Researchgate	Arthur Valle; Eduardo Portela; Eduardo Rocha Loures; Fernando Deschamps	Structure and Content of A Framework to Apply Process Mining Techniques in Scampi Assessments	Propuestas	Artículo

2014	ResearchGate	Samalikova, J., Kusters, R.J., Trienekens, J.J.M., Weijters, A.J.M.M.	Process mining support for CMMI-based software process assessment, in principle and in practice.	Propuestas	Artículo
2014	ResearchGate	Esmita P. Gupta	Process mining a comparative study	Algoritmos	Artículo
2015	Redalyc	Hugo Santiago Aguirre Mayorga y Nicolás Rincón García	Minería de procesos: Desarrollo, aplicaciones y factores críticos.	Fundamentos Teóricos	Artículo
2015	Springer	Arthur Valle, Eduardo Rocha Loures y Eduardo Portela	Process Mining Extension to SCAMPI	Propuestas	Artículo

3.3.2 Mapeo sistemático con Diagrama de Burbuja

El mapeo sistemático permite categorizar los resultados que se publican en una determinada área de interés (Martinez et al, 2011). El último paso del mapeo sistemático consiste en generar un modelo (mapa visual) de las dimensiones.

La Figura 0.2 muestra el diagrama de burbuja que visualiza la frecuencia de documentos por años de publicación y la intersección de cada uno de los documentos con su clasificación asignada. Esto significa que el tamaño de una burbuja es proporcional al número de documentos reportados en el año y en relación a una única categoría. Por ejemplo, la categoría 2) Propuestas, visualiza la burbuja con mayor tamaño con un total de 3 documentos en el 2014. Otra vista es la frecuencia de documentos publicados por años, donde la categoría 1) Fundamentos teóricos cuenta con 6 documentos en un periodo del 2004 al 2015, concentrándose más en el periodo del 2009 al 2011. De este modo, las dos primeras categorías reflejan, de manera visual, un mayor esfuerzo en establecer los fundamentos teóricos y las propuestas sobre la Minería de Procesos en proyectos SPI implementando el modelo de referencia CMMI-DEV; a diferencia de las categorías 3 y 4 con las menores frecuencias. De igual forma, en la Figura 3.2 se observa que a partir del 2007 la frecuencia de los documentos va en aumento por año de publicación, siendo el año de 2014 el de mayor número con 4 documentos relacionados a las categorías de 2) Propuestas y 4) Algoritmos.

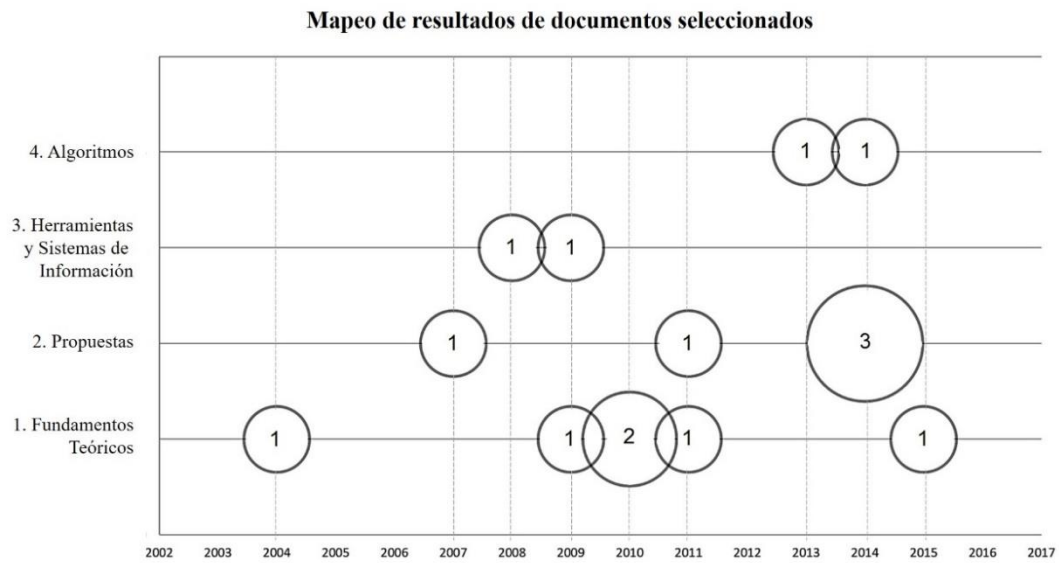


Figura 0.2 Visualización del mapeo sistemático en diagrama de burbuja.

3.4 Reportar los Resultados

Los hallazgos encontrados en el mapeo sistemático demuestran una evolución de la Minería de Procesos durante el periodo seleccionado, reconociéndose inicialmente como una técnica hasta llegar a formalizarse como una disciplina, con la inclusión de técnicas, algoritmos y herramientas basadas en principios de minería de datos, que permiten la exploración y explotación de información a partir de los registros de evento. Así mismo, se encontró evidencia entre la Minería de Procesos en proyectos SPI que han tenido como propósito apoyar los enfoques actuales de implementación y evaluación de procesos de software definidos por el modelo de referencia de procesos CMMI-DEV y su método de evaluación SCAMPI.

Durante 15 años, los aportes más completos para los principios de la Minería de Procesos fueron hechos por Wil M. P. van der Aalst (2001, 2003, 2004, 2007, 2011, 2012, 2013). El acervo referencial obtenido por el mapeo sistemático permitió identificar que la categoría 1) Fundamentos teóricos tuviera la mayor concentración de aportaciones conceptuales de manera general, y específicas tal como se visualiza en el eje y de la Figura 0.2. Por otro lado, en la categoría 2) Propuestas, se relaciona la integración de la Minería de Procesos con sistemas de información, modelos de referencia de procesos (Rubin, 2007; Samalikova, 2014; Valle et al., 2014b), modelos de evaluación de procesos (Gruañas, 2011; Valle et al., 2014), monitoreo y control de procesos.

La categoría 3) Sistemas de Información y herramientas agrupa las diversas técnicas y algoritmos de Minería de Procesos en herramientas de software comerciales: ARIS Process Performance Manager por Software AG, Disco por Fyxicon (Papadimitriou y Sun, 2008), Enterprise Visualization Suite por Businesscape, Interstage BPME por Fujitsu, Process Discovery Focus por Iontas, Reflect one por Pallas Athena y Reflect por Futura Process Intelligence. Por el contrario, la herramienta de Minería de Procesos de código abierto ProM es ampliamente utilizada en todo el mundo y proporciona escenarios ficticios sencillos como un punto de partida para los profesionales, estudiantes y académicos (Van der Aalst y Van Dongen, 2013).

En dichos sistemas de información se encontró que de acuerdo a la categoría 4) Algoritmos, se implementan principalmente tres algoritmos básicos: heurístico, difuso y genético (Gupta, 2014). La minería heurística proporciona una vista de flujos de trabajo científico, considerando la dependencia de larga distancia. Este algoritmo obtiene el modelo del proceso expresado en una C-net, es robusto ante el ruido y las ejecuciones incompletas de los procesos (Puldon y Llanes, 2005). El algoritmo difuso brinda una vista amplia del flujo de trabajo de forma científica mediante el control para mostrar una tarea diferente según el nivel de importancia. El algoritmo difuso devuelve el modelo de proceso en una red de Petri, con la limitante de no ser robusto ante el ruido, procesos poco estructurados o ejecuciones incompletas (Gupta, 2014). El tercer algoritmo trabaja con minería genética siendo capaz de obtener un modelo del proceso que refleja adecuadamente la realidad expresada en el registro de eventos pero tiene un alto costo computacional (Puldon y Llanes, 2005). El algoritmo genético proporciona una vista de la frecuencia en que se ejecutan las tareas y la sucesión entre las mismas. Así mismo, este algoritmo descubre todas las estructuras de control de flujo comunes (Gupta, 2014). El modelo extraído mediante cualquiera de los tres algoritmos de Minería de Procesos puede brindar una vista del(los) proceso(s) en un determinado punto de la ejecución; esto conduce a buscar diversas formas de analizar el proceso para la manipulación de los cambios en él.

En relación a las implicaciones de la Minería de Procesos con respecto a CMMI, Valle et al. (2014, 2014b) desarrolló un marco (estructura y contenido) para aplicar técnicas de Minería de Procesos en las evaluaciones SCAMPI con el objetivo de llevarla a cabo con una mayor profundidad y cobertura, mientras se mantiene el mismo nivel de esfuerzo. Los autores indican que la Minería de Procesos facilitaría el proceso de evaluación tipo

SCAMPI, brindando la información que se requiere sobre las áreas de procesos definidas para un modelo de referencia de procesos, tal como CMMI-DEV v1.3.

El autor Samalikova (2014), realizó un estudio para identificar los elementos que apoyan las evaluaciones de procesos de software con CMMI. Identificó los elementos clave dentro de los objetivos y prácticas genéricas, encontrando en la Minería de Procesos una forma de apoyar los enfoques actuales para la evaluación y mejora de procesos de software. De igual manera, Gruañas (2011) investigó el potencial de la Minería de Procesos para apoyar un proyecto SPI y evaluación de procesos de software basado en CMMI. Propuso una metodología concreta para encontrar las relaciones entre la Minería de Procesos y la evaluación de dos áreas de procesos de CMMI para un nivel 3 de madurez: Enfoque en Procesos de la Organización (OPF) y Análisis de Decisiones y Resolución (DAR). Concluyendo con que la Minería de Procesos es un camino viable para la recolección de datos en una evaluación y de esta forma reconstruir los procesos que se modelan con CMMI. De esta forma, las aportaciones de (Samalikova, 2014; Valle et al., 2014, Valle et al., 2014b; Gruañas, 2011) recomiendan aprovechar, de forma significativa, los datos de eventos o registros de eventos en un proyecto SPI basado en CMMI-DEV permitiendo que los procesos de monitoreo y control de la ejecución de la implantación de las áreas de procesos, la gestión de proyectos, gestión de procesos y el de evaluación SCAMPI, por mencionar un modelo para la exploración y explotación del conocimiento asociado al cumplimiento de las áreas de procesos establecidos para un nivel específico de madurez y/o mejorar el modelo del proceso.

3.5 Minería de Datos

La Minería de Datos (*Data Mining*, DM por sus siglas en inglés) es conocida como una de las etapas dentro de un proceso mayor llamado extracción de conocimiento en bases de datos (*Knowledge Discovery in Databases*, KDD por sus siglas en inglés) (Piatetsky-Shapiro et al., 2007). El proceso de KDD ha servido para unir investigadores de áreas en principio dispersas como Inteligencia Artificial, Estadística, Técnicas de Visualización, Matemáticas, Aprendizaje Automático y bases de datos en la búsqueda de técnicas eficientes y eficaces que ayudan a encontrar el potencial conocimiento que se encuentra inmerso en los grandes volúmenes de datos almacenados por las organizaciones diariamente (Pérez-López y Santín-González, 2007). En un principio DM fue solo una parte de un proceso mayor, donde se debían aplicar las técnicas y algoritmos de descubrimiento de patrones. Actualmente, se utiliza para referirse al conjunto del proceso

global de descubrimiento de conocimiento a partir de los datos, y a los algoritmos de análisis de datos como las técnicas.

Por otro lado, una gran cantidad de investigadores de disciplinas aplicadas, como biología, medicina, economía, etc., han descubierto el enorme potencial que tienen las aportaciones teóricas de DM. La DM se define como el proceso válido de extracción de información previamente desconocida, haciendo esta comprensible. Todo esto con información de grandes bases de datos para utilizarlo en la toma de decisiones. Las principales técnicas de DM son de clasificación y agrupación de análisis, la minería de series de tiempo, y reglas de Asociación (Hil'ovská y Koncz, 2012).

El instituto SAS (*Statistical Analysis Systems*) define el concepto de DM como el proceso de seleccionar, explorar, modificar, modelar y valorar grandes cantidades de datos con el objetivo de descubrir patrones desconocidos que puedan ser utilizados como ventaja competitiva por la organización (Pérez-López y Santín-González, 2007). El principal producto del proceso de la DM es el descubrimiento de reglas; éstas mostrarán nuevas relaciones entre las variables o excepciones de acuerdo a la empresa en que se utilice este proceso, de esta forma, enriquecerá el análisis y la descripción del proceso analizado y ayudará en la planificación y en el diseño de futuros cambios.

Las técnicas de DM distinguen entre técnicas predictivas, en las que las variables se clasifican inicialmente en dependientes e independientes; técnicas descriptivas, en las que todas las variables tienen inicialmente el mismo estatus y técnicas explicativas (Cios et al., 2007).

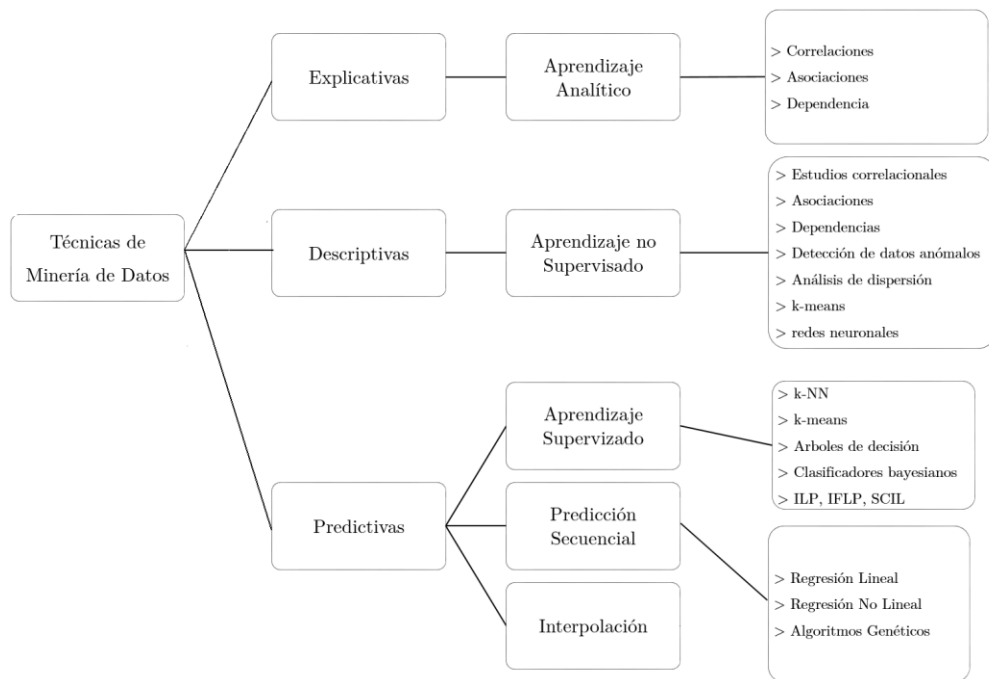


Figura 0.3 Clasificación de algunas técnicas de Minería de Datos.

La Figura 0.3 presenta las técnicas de DM. Las predictivas especifican el modelo para los datos con base a un conocimiento teórico previo. Mientras en las técnicas descriptivas no se asigna ningún papel predeterminados a las variables. No se supone la existencia de variables dependientes, ni independientes y tampoco se supone la existencia de algún modelo previo. Finalmente, las técnicas auxiliares son herramientas de apoyo superficiales y limitadas. Se trata de métodos básicos en técnicas estadísticas descriptivas, consultas e informes y enfocados en general hacia la verificación (Pérez-López y Santín-González, 2007).

3.6 Gestión del Conocimiento y Procesos de Negocio

La Gestión del Conocimiento (*Knowledge Management*, KM por sus siglas en inglés) se ha convertido en uno de los principales temas de investigación y en el paradigma de gestión por excelencia en el campo de la organización y gestión de instituciones empresariales, promueve el valor de los intangibles como centro de las acciones y estrategias empresariales (Gallego y Ongallo, 2004).

Los autores precursores de los términos asociados a la gestión del conocimiento, la describieron en un principio como: la capacidad de una compañía para generar nuevos conocimientos, diseminarlos entre los miembros de la organización y materializarlos en

productos, servicios y sistemas. La creación de conocimiento organizacional es la clave del proceso peculiar a través del cual estas firmas innovan. Son especialmente aptas para innovar continuamente, en cantidades cada vez mayores y en espiral generando ventaja competitiva para la organización (Nonaka y Takeuchi, 1999). Todas las organizaciones saludables generan y usan conocimiento. A medida que las organizaciones interactúan con sus entornos, absorben información, la convierten en conocimiento y llevan a cabo acciones sobre la base de la combinación de ese conocimiento y de sus experiencias, valores y normas internas. (Davenport y Prusak, 2001).

La inteligencia de Negocios (*Business Intelligence*, BI por sus siglas en inglés), es la parte de la KM donde se sustentan estas estrategias que permiten seguir un conjunto de acciones que la empresa inteligente emprende, y que le conceden una ventaja sobre sus competidores, principalmente porque el valor agregado a los servicios o productos que son consecuencia de estas acciones, desarrollan una eficiencia en su producción y una eficacia en su funcionamiento de procesos o estrategias definidas (Ahumada y Perusquia, 2016). Esto se logra mediante el uso de metodologías, aplicaciones y tecnologías que permiten reunir, depurar, transformar datos, y aplicar en ellos técnicas analíticas de extracción de conocimiento (Gómez y Bautista, 2010).

La perspectiva de la BI se sustenta en la organización que aprende, que adquiere el valor de las habilidades y conocimientos particulares de los individuos (capital humano), también de las estructuras organizacionales y condiciones de mercado (capital estructural) y, finalmente, de los procesos de formación de estrategias de vinculación, alianzas y colaboraciones (capital relacional) (Gómez y Bautista, 2010).

La Gestión de Procesos de Negocio (*Business Process Management*, BPM por sus siglas en inglés) proporciona soporte mediante los Sistemas de BPM, de manera que se adapten a los cambios constantes del negocio (Peralta et al., 2008). La implementación de la BPM en una organización debe estar orientada por algún modelo de ciclo de vida de los procesos de negocio. Esto permite mantener la coherencia en las acciones a ejecutar, así como un mayor entendimiento de la relación entre el resultado de la implementación y los objetivos organizacionales (Galvis-Lista y González-Zabala, 2014). Además, al tener claridad sobre el soporte de herramientas de TI requerido en cada una de las fases del ciclo de vida, los profesionales encargados de liderar la implementación de la BPM organizan mejor todos los procesos de desarrollo o adquisición de tecnología de acuerdo con el alcance que pretendan lograr (Peralta et al., 2008).

3.7 Minería de Procesos

La Minería de Procesos (*Process Mining*, PM por sus siglas en inglés) provee de un puente entre la DM y la modelación y análisis de procesos de negocio, apoyándose principalmente en conceptos de BI (Van der Aalst et. al, 2012). En un inicio se definió como una técnica que utiliza los registros de flujo de trabajo para descubrir el proceso que en realidad está ejecutándose (Weijters, 2003). Posteriormente, con la creación de nuevos algoritmos para el análisis de los registros de eventos, la PM se definió como un conjunto de técnicas y procedimientos que trataban de reconstruir de forma automática el modelo observado en los registros de eventos (Van der Aalst et al., 2004). Antes de convertirse formalmente como una disciplina ante la IEEE en el 2011, la PM se refería a un grupo de técnicas con el objetivo de descubrir, mejorar y monitorear los procesos reales a través de la extracción del conocimiento de un conjunto de ejecuciones reales de procesos (Nakatumba, 2010). Hoy en día, los registros de eventos ya están automatizados en sistemas de información (Van der Aalst, 2011; Orellana et al., 2015).

Tabla 0.2 Propuestas a la definición de Minería de Procesos.

Año	Autor	Definición
2001	Weijters y van der Aalst	Técnica que utiliza los registros de flujo de trabajo para descubrir el proceso que en realidad está ejecutándose.
2003	Weijters	Conjunto de técnicas y procedimientos que tratan de reconstruir de forma automática el modelo observado en los ficheros de registros.
2009	Nakatumba, J.	Conjunto de técnicas que tienen como principal objetivo, descubrir, mejorar y monitorear los procesos reales a través de la extracción de conocimientos de un conjunto de ejecuciones reales de procesos (registro de eventos).
2011	van der Aalst	Disciplina permite descubrir, monitorear y mejorar los procesos identificados en los sistemas de información que poseen las organizaciones a partir de sus registros de eventos.
2014	Gupta	Disciplina que construye el puente entre la minería de datos como un enfoque de <i>Business Intelligence</i> y <i>Business Process Management</i> y tiene como objetivo el descubrimiento de modelos basados en el registro de eventos disponibles.
2014	Rendon-Mattogno	Disciplina de investigación relativamente joven que ha surgido a partir del modelado de datos en el entorno empresarial, con el objetivo de facilitar la labor de extracción de modelos.
2015	Aguirre	Disciplina que está compuesta por una serie de herramientas y técnicas basadas en la minería de datos para analizar procesos de negocio cuyo registro de eventos de ejecución real se encuentran disponibles en sistemas de información.

Por otro lado, en la Tabla 0.2 se muestra una relación de propuestas a la definición del término PM, donde se especifica como la PM tiene como objetivo descubrir, monitorear y mejorar los procesos reales a través de la extracción de conocimiento de los registros de eventos disponibles en los actuales sistemas de información, esto incluye el descubrimiento de procesos, la verificación de conformidad, la minería de redes sociales/organizacionales, la construcción automática de modelos de simulación, la extensión de modelos, la reparación de modelos, la predicción de casos y las recomendaciones basadas en historia (van der Aalst et al., 2012).

La PM es un proceso de análisis de gestión, con técnicas de BI que se basa en los registros de eventos. La idea básica es extraer conocimiento a partir de los registros de eventos dentro de un sistema de información. Este conocimiento, en forma de modelos de procesos de negocio, se puede extraer por medio de algoritmos de PM. Los modelos extraídos se utilizan con el propósito del cumplimiento de procesos y la mejora de los modelos de negocio actuales. (Wang et al., 2013). Uno de los valores agregados de los sistemas de información está relacionado con el aprovechamiento de toda la información histórica que se registra sobre la ejecución real de los procesos de negocio, donde se encuentran las actividades, sus ejecutores, los tiempos de inicio y finalización por cada actividad y los datos asociados a cada caso. Esta información se extrae de los registros de eventos del sistema y es analizada con técnicas de análisis de datos para que las organizaciones puedan entender, descubrir, monitorear y mejorar sus procesos (Aguirre-Mayorga y Rincón-Nicolás, 2015).

Los sistemas de información empleados en las instituciones y empresas registran las acciones que se realizan durante la ejecución de ciertos pasos de los procesos organizacionales. La Ingeniería de Procesos tiende en ocasiones a ser mucho menos estructurada que los procesos del área de producción. Con el propósito de ayudar a los ingenieros a identificar, comprender mejor, analizar, optimizar y para la ejecución de sus procesos, los datos de procesos son almacenados en algunos sistemas de información, los cuales posteriormente son utilizados para la extracción de los procesos de ingeniería subyacentes y así construir uno o varios procesos mucho más explícitos. Por lo tanto, la PM es una variante de DM en la que se analiza la información generada por los procesos que han sido informatizados y de los cuales se tiene una traza de su ejecución. La PM ayuda a descubrir, seguir y mejorar procesos reales mediante la extracción del conocimiento.

Según la IEEE la PM es una disciplina de investigación que se ubica entre la inteligencia computacional y la DM, así como por otra parte entre la modelación y análisis de procesos (Van der Aalst et al., 2012). Se establece que la PM es descubrir, monitorear y mejorar los procesos reales a través de la extracción de conocimientos de los registros de eventos ampliamente disponibles en los actuales sistemas de información (Van der Aalst, 2011).

En 2009, se creó un Task Force de IEEE dedicado a la PM integrado por más de 20 países y fabricantes de software (como Software AG, HP, IBM o *Fluxicon*, entre muchos otros), firmas de consultoría y análisis (*Process Sphere*, *Gartner*) e instituciones educativas. Uno de los objetivos era la difusión de conceptos, técnicas y beneficios que aporta. Por tal motivo, en 2011 se presenta el Manifiesto de PM, documento firmado por más de 50 profesionales del sector y en 12 idiomas.

3.7.1 Registro de Eventos

Los registros de eventos tienen como objetivo extraer información a partir de los datos almacenados en los registros de trazas de los sistemas de información, en busca de errores inconsistencias, vulnerabilidades y variabilidad en los procesos que se ejecutan (Orellana et al., 2016). El propósito es analizar los datos de eventos desde la perspectiva orientada a procesos.

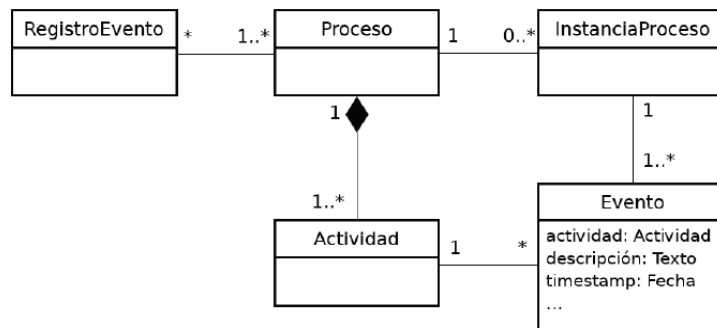


Figura 0.4 Meta Modelo de Minería de Procesos (Poncin et al., 2011).

La Figura 0.4 presenta el meta modelo con las características necesarias que deben presentar los datos. El registro de eventos debe contener datos de una cierta cantidad de procesos. Cada proceso se compone de actividades y tiene asociada una serie de instancias de proceso. Cada instancia de proceso se compone de uno o más eventos. Estos eventos deben indicar la actividad a la que corresponden, deben tener una descripción, un tiempo de ejecución y un responsable (Poncin et al., 2011).

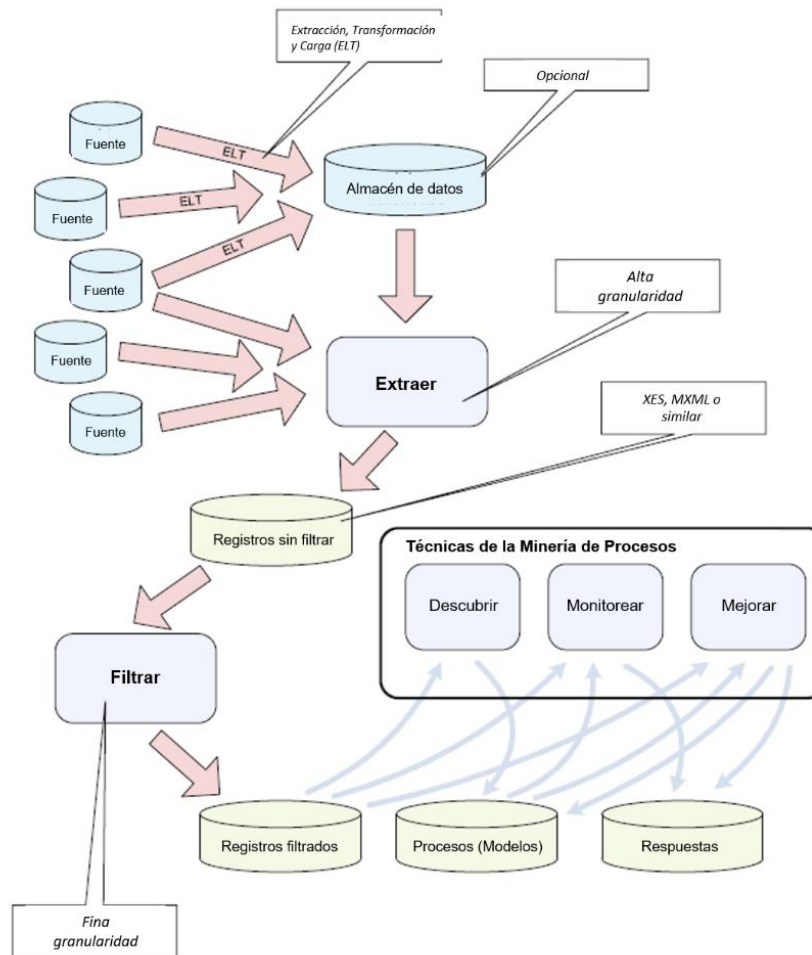


Figura 0.5 Diagrama de extracción de datos para un registro de eventos.

Por otro lado, el autor Van der Aalst en la Figura 0.5 explica como sucede el flujo de trabajo de los registros de eventos, donde el punto de partida son los datos en bruto ocultos en todo tipo de fuentes de datos. Una fuente de datos puede ser un archivo plano simple, una hoja de cálculo de Excel, un registro de transacciones, o una tabla de base de datos (Van der Aalst W. M., 2011). Los datos de los registros de eventos, con mayor frecuencia, se dispersan típicamente a través de diferentes fuentes, requiriendo grandes esfuerzos para recopilar los datos pertinentes. Los eventos también pueden capturarse buscando en los intercambios de mensajes, el registro de lectura y escritura y las fuentes de datos que son estructurados por metadatos. Desafortunadamente, en muchas situaciones, son datos no estructurados (Verdonk et al., 2010).

En la Figura 0.5 se observan los flujos de salida desde las fuentes de datos que indican la leyenda ETL refiriéndose a la extracción, transformación y carga (*Extraction*

Transformation Loading), se utiliza para describir el proceso que consiste en: a) extracción de datos de fuentes externas, b) transformación de las necesidades operacionales, y c) la carga en el sistema de destino en un almacén de datos o base de datos relacional. Un almacén de datos es un repositorio único lógico de los datos transaccionales y operativos de una organización. Un almacén de datos no produce datos. El objetivo es unificar la información de tal manera que se puede utilizar para la presentación de informes, análisis, pronóstico, etc. Dependiendo de las preguntas y puntos de vista elegidos, diferentes registros de eventos son extraídos del mismo conjunto de datos, basándose en el registro filtrado, dependiendo de los diferentes tipos de PM que se deseen aplicar: descubrimiento, de conformidad y mejora (Van der Aalst, 2011). Estas tres técnicas se explican más adelante.

Es importante señalar que aunque la Figura 0.5 no refleja la naturaleza iterativa de todo el proceso, es probable que los resultados de la PM desencadenen nuevas preguntas que a su vez, conduzcan a la exploración de nuevas fuentes de datos y extracciones de datos más detallados. Por lo general, se necesitan varias iteraciones de la extracción, filtrado y fases de la producción. Algunos sistemas de información PAIS (por las siglas de *Processs Aware Information Systems*) del tipo workflow, BPMS, ERP, CRM, entre otros (Pérez Alfonso et al., 2012) permiten generar automáticamente los registros de eventos, descubrir modelos de procesos considerando distintos objetivos o perspectivas como el control de flujo, organizacional, o temporal por medio de diversas representaciones (Pizarro Álvarez, 2013). De esta forma, los registros de eventos almacenan la información de los eventos asociados a las actividades de los procesos (Pérez Alfonso, Yzquierdo Herrera, Silverio Castro y Lazo Cortes, 2012).

	ID de Caso	Timestamp		Actividad	Atributos	
	CaseID	Timestamp	Medium	Activity	Service Line	Urgency
1	case9700	20.8.09 11:46	Phone	Registered	1st line	0
2	case9700	20.8.09 11:50	Phone	Completed	1st line	0
3	case9701	23.9.09 12:23	Phone	Registered	1st line	0
4	case9701	23.9.09 12:27	Phone	Completed	1st line	0
5	case9705	20.10.09 14:21	Phone	Registered	Specialist	2
6	case9705	20.10.09 16:48	Phone	At specialist	Specialist	2
7	case9705	19.11.09 10:31	Phone	In progress	Specialist	2
8	case9705	19.11.09 10:32	Phone	Completed	Specialist	2
9	case3939	15.10.09 11:48	Mail	Registered	Specialist	2
10	case3939	15.10.09 11:48	Mail	Offered	Specialist	2
11	case3939	20.10.09 17:18	Mail	In progress	Specialist	2
12	case3939	20.10.09 17:19	Mail	At specialist	Specialist	2
13	case3939	21.10.09 14:49	Mail	In progress	Specialist	2
14	case3939	21.10.09 14:49	Mail	In progress	Specialist	2
15	case3939	28.10.09 10:17	Mail	In progress	Specialist	2
16	case3939	28.10.09 10:18	Mail	Completed	Specialist	2
17	case9704	20.10.09 14:19	Mail	Registered	1st line	0
18	case9704	20.10.09 14:24	Mail	Completed	1st line	0
19	case9703	20.10.09 14:40	Phone	Registered	1st line	0
20	case9703	20.10.09 14:58	Phone	Completed	1st line	0
21	case9702	24.8.09 12:24	Mail	Registered	2nd line	2
22	case9702	24.8.09 12:30	Mail	Offered	2nd line	2
23						

Figura 0.6 Estructura de un registro de eventos.

En un registro de eventos cada evento corresponde a una actividad que se ejecutó en el proceso; así también, varios eventos podrían estar enlazados entre sí dentro de una misma instancia o caso de proceso y cada caso forma una secuencia de eventos ordenados por un tiempo. A partir de la muestra de datos de la Figura 0.6, se analiza como la medición de la frecuencia de las variantes del flujo, es imposible utilizando herramientas estándar y sólo se vincula mediante la adopción de un meta-modelo orientado al proceso.

Las columnas con los datos determinan las posibilidades de análisis y aquí es donde entran en juego los requisitos reales de PM; de acuerdo con el modelo descrito anteriormente, es necesario identificar al menos los siguientes tres Elementos: ID de caso, Actividad y Timestamps. El ID de caso determina el alcance del proceso, la Actividad determina el nivel de detalle de los pasos dentro del proceso y el Timestamps determina el orden de ejecución de las actividades en el proceso.

3.7.2 Técnicas empleadas

Las técnicas de PM son capaces de extraer conocimiento de los registros de eventos que se encuentran disponibles en los sistemas de información. Estas técnicas proveen nuevos medios para lograr mejorar los procesos en una gran variedad de dominios de aplicación (Van der Aalst et al., 2012). Todas las técnicas de PM asumen que es posible registrar eventos de manera secuencial, de tal manera que cada uno de los eventos se refiere a una actividad; es decir, un paso bien definido en algún proceso y a su vez este se relacione a un caso particular, como una instancia de proceso. Considerando que cada

evento se registra dentro de sí información adicional. Los registros de eventos mencionados son utilizados para realizar tres tipos diferentes de PM.

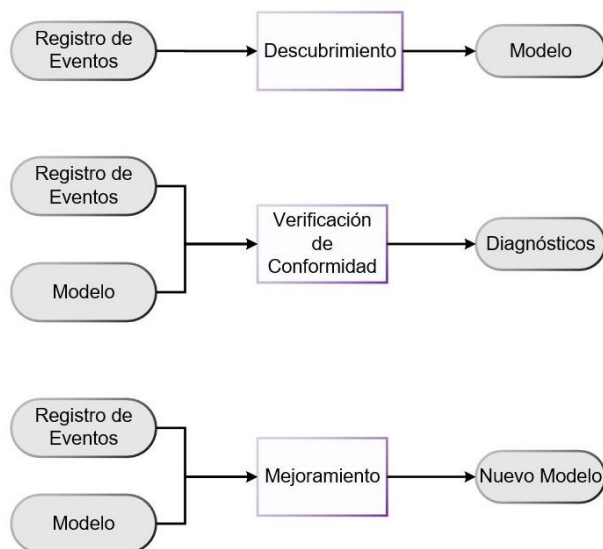


Figura 0.7 Los tres tipos básicos de Minería de Procesos explicados en términos de entradas y salidas: (a) descubrimiento, (b) verificación de conformidad, y (c) mejoramiento.

Como se aprecia en la Figura 0.7 el primer tipo de PM se basa en el descubrimiento. Esta técnica basada en el descubrimiento toma el registro de los eventos y produce un modelo sin usar ninguna información a-priori. El descubrimiento de procesos es una de las técnicas más destacadas. El segundo tipo de PM se basa en la conformidad. Aquí, se compara un modelo que ya existe contra un registro de eventos del mismo proceso. La verificación de conformidad es usada para asegurarse si la realidad, se encuentra tal como los registros de eventos y coincide con el modelo y viceversa (Aguirre-Mayorga y Rincón-Nicolás, 2015). Mientras que el tercer tipo de PM se basa en el mejoramiento. En esta la idea es extender o mejorar un modelo existente utilizando la información acerca del proceso real almacenada en algún registro de eventos. Mientras que el segundo tipo busca medir la conformidad entre el modelo y la realidad, este tercer tipo de PM busca cambiar o extender un modelo ya existente (Van der Aalst, 2011).

La PM podría cubrir diferentes perspectivas. La perspectiva de control de flujo, que se enfoca en el control de los flujos, el orden de ejecución de las actividades. El objetivo de explorar esta perspectiva es encontrar los mejores caminos posibles. Hay algunas ideas que se encuentran erradas en relación a la PM. Algunos proveedores, analistas e investigadores (Weijters, 2003; van Dongen, 2005), limitan el alcance de la PM a una

técnica especial de la DM para el descubrimiento de procesos que es usada para análisis offline. Esto no es así, por lo tanto, enfatizamos las siguientes tres características.

La PM no está limitada al descubrimiento del control de flujo. El descubrimiento de los modelos de procesos desde los registros de eventos llena la imaginación de cualquiera que esté involucrado. Por lo tanto, el descubrimiento del control de flujo es a menudo visto como la parte más emocionante de la PM, lo cual no quiere decir que se limite a únicamente el descubrimiento del control de flujos.

La PM no está limitada al análisis offline. Las técnicas de PM extraen conocimientos de los eventos anteriores. Aunque utilicen datos ya muertos, los resultados son aplicados en casos de ejecución. Como en cualquier nueva tecnología, existen errores obvios que llegan a cometerse por parte de usuarios y analistas cuando se aplica la PM en entornos reales. Para evitarlos, existen seis principios básicos (Van der Aalst, 2012), los cuales se describen a continuación:

Los datos del registro de eventos deben ser tratados como de primera clase. Ya se ha mencionado que el punto de partida de cualquier actividad de PM son los eventos registrados. Estos eventos podrían encontrarse en tablas de bases de datos, registros de mensajes, archivos de correo, registros de transacciones y otras fuentes. Más importante que el formato de almacenamiento, es la calidad de estos registros. La calidad de un resultado de PM en gran medida depende de la entrada. Por lo tanto, estos datos deberían ser tratados como ciudadanos de primera clase en el sistema de información.

La extracción de registros de eventos debe ser impulsada por preguntas. Las actividades de PM necesitan ser impulsadas por preguntas concretas, para así obtener datos de eventos significativos. Se debería dar soporte a concurrencia, elección y otros conceptos básicos de control de flujo. La descripción del control de flujo es la columna vertebral de cualquier modelo de proceso. Los conceptos básicos de control de flujo a los cuales todos los leguajes principales dan soporte son secuencia, paralelismo, elección y ciclos. Obviamente, la PM debe dar soporte a estos patrones.

Los eventos deben estar relacionados con elementos del modelo. Los tipos de PM basados en verificación de conformidad y mejoramiento, dependen fuertemente de la relación entre los elementos en el modelo y los eventos en el registro de eventos. Por lo tanto, dicha parte puede ser usada para repetir la ejecución de los registros de eventos sobre el modelo. Se debe tratar a los modelos como abstracciones útiles de la realidad. Los modelos derivados de datos de eventos proporcionan puntos de vista sobre la realidad.

Dichos puntos de vista deben proporcionar una abstracción útil del comportamiento capturado en el registro de eventos. Dado un registro de eventos, podría haber múltiples puntos de vista que son útiles.

La PM debería ser un proceso continuo, que ayuda a proveer mapas significativos que están conectados directamente con los datos de eventos. Tanto los datos de eventos históricos, como los actuales. Así, se podrían proyectar los modelos más acertados. Además, los procesos cambian mientras están siendo analizados.

3.7.3 Algoritmos

La PM implementa los algoritmos heurístico, difuso y genético, permiten realizar las técnicas de PM al recibir la información de los registros brindando información para el proceso de Software (Wang et al., 2013). La minería heurística proporciona una vista de flujos de trabajo científico, considerando la dependencia de larga distancia. Este algoritmo obtiene el modelo del proceso expresado en una C-net, es robusto ante el ruido y las ejecuciones incompletas (Puldon y Llanes, 2005). El algoritmo difuso brinda una vista amplia del flujo de trabajo de forma científica mediante el control para mostrar una tarea diferente según el nivel de importancia. Este algoritmo devuelve el modelo de proceso en una red de Petri, con la limitante de no ser robusto ante el ruido, los procesos poco estructurados o ejecuciones incompletas; no detecta ciclos cortos de longitud uno o dos y presenta deficiencias para detectar dependencias que no son locales (Gupta, 2014). El algoritmo de minería genética es capaz de obtener un modelo del proceso que refleja adecuadamente la realidad expresada en el registro de eventos pero tiene un alto costo computacional (Puldon y Llanes, 2005). El algoritmo genético proporciona una vista de la frecuencia en que se ejecutan las tareas y la sucesión entre las mismas. Así mismo, descubre todas las estructuras de control de flujo comunes (Gupta, 2014).

El modelo extraído mediante cualquiera de los tres algoritmos de PM puede brindar una vista del(los) proceso(s) en un determinado punto de la ejecución; esto conduce a buscar diversas formas de analizar el proceso para la manipulación de los cambios en él. A continuación se presenta la tabla 8 con el concentrado de la información de los algoritmos.

Tabla 0.3 Principales algoritmos en la PM.

Algoritmo de Minería	Heurístico	Difuso	Genético
Descripción	Proporciona una vista del flujo de trabajo de forma científica, considerando la dependencia de larga distancia.	Proporciona una vista amplia del flujo de trabajo de forma científica, mediante el control para mostrar una tarea diferente según el nivel de importancia.	Proporciona una vista de la frecuencia en que se ejecutan las tareas y la sucesión entre las mismas. Así mismo, descubre todas las estructuras de control de flujo comunes.
Tipo de Estrategia	Basado en la técnica de la estrategia local para construir un modelo	Basado tanto en la técnica de la estrategia local como en la global para construir un modelo	Basado en la técnica de la estrategia global para construir un modelo
Salida	Red heurística	Modelo difuso	Grafica de red Petri
Ideal para	Cuando se tienen datos de la vida real sin demasiados eventos diferentes	Cuando se tiene registro de datos complejos y no estructurados, o cuando se quiere simplificar el modelo de una manera interactiva	Cuando se necesita para generar una población aleatoria de modelos de procesos y para encontrar una solución satisfactoria
Problemas Desafiantes	Puede extraer registros que son menos sensibles al ruido, local y construcciones de elección no libre.	Puede extraer los registros con el ruido, pero no se puede convertir a una red de Petri.	Puede extraer los registros con el ruido, la manipulación de los nombres de las tareas duplicadas, selección de construcciones locales y no locales y tareas invisibles.
Formato	Puede extraer procesos no estructurados	Puede extraer procesos menos estructurados	Puede extraer tanto el proceso estructurada y no estructurada
Registro de datos	puede manejar los registros incompletos en cierta medida	puede manejar registros incompletos	Puede manejar fácilmente los registros incompletos.

3.7.4 Herramientas

En la última década, los registros de eventos se han hecho fácilmente accesibles, por ello las técnicas de PM se encuentran disponibles en diversos sistemas académicos y comerciales (van der Aalst y van Dongen, 2013). Algunos ejemplos de sistemas comerciales, orientados hacia Minería de Procesos son: “ARIS Process Performance Manager” elaborado por Software AG; “Disco” desarrollado por Fyxicon; “Enterprise Visualization Suite” por Businesscape; “Interstage BPME” por Fujitsu, “Process Discovery Focus” por Iontas; “Reflect one” desarrollado por Pallas Athena y “Reflect” por Futura Process Intelligence (Van der Aalst et. al 2009).

Tabla 0.4 Características de tres de las herramientas disponibles para Minería de Procesos.

Características	ProM (v. 6.5)	Disco (v. 1.9 demo)	Celonis (Online)
Tipo de archivos	mxml, xes, csv	csv, xls, mxml, xes, fxl	cvs, xls
capacidad de registros	ilimitados	100 en versión demo, 5 millones con licencia.	Se basa en una cuota de la base de datos.
licencia	open source	demo de evaluación y comercial	evaluación por un mes y comercial
Modelos para salida	BPMN, flujo de trabajo, redes Petri, sistemas de transición, heurísticas	modelos difusos	modelos difusos y actividades de soporte
Plataforma	escritorio Mac y Windows	escritorio Mac y Windows	Online
Filtrado de información	✓	✓	✓
Descubrimiento del proceso	✓	✓	✓
Verificación de la conformidad	✓	x	x
Visualización del proceso	✓	✓	✓
Trazado de agrupamientos	✓	x	x

La Tabla 0.4 nos lista las tres herramientas que fueron evaluadas, una herramienta que permite realizar el monitoreo y que tiene asociadas funciones de auditoria de procesos es Celonis, la cual facilita realizar un análisis de la información en diferentes niveles, con funcionalidades de inteligencia de negocios, estadísticas, manejo de los indicadores claves de desempeño, y la visualización de resultados a través de dashboards (Arias y Rojas, 2016). Así mismo, Disco es otra herramienta que ofrece una interfaz bastante amigable para el usuario y presenta funcionalidades para realizar filtros, obtener estadísticas e información relacionada con los casos y las variantes, así como visualizar resultados, lo que posibilita realizar un análisis de Minería de Procesos bastante completo. Además, se considera como una herramienta bastante fácil de usar. Por otro lado, ProM es la herramienta open-source utilizada por practicantes, estudiantes y académicos, que brinda un punto de inicio para aplicar las técnicas de Minería de Procesos.

ProM ha sido desarrollado por el grupo Minería de Procesos en la Universidad de Eindhoven de Tecnología (van der Aalst et. al 2009). Integra la funcionalidad de varias herramientas existentes de Minería de Procesos y proporciona diferentes plug-ins Minería de Procesos (van Dongen, de Medeiros, Verbeek, Weijters y van der Aalst, 2005). ProM

contiene más de 280 algoritmos enchufables, desarrollados para proporcionar una amplia gama de funcionalidades y técnicas, por ejemplo, redes de Petri, EPC o redes sociales (van der Aalst et. al 2009). Con el paso de los años, ProM ha evolucionado al ofrecer una arquitectura que permite incorporar nuevas funcionalidades a los algoritmos ya existentes, en forma de plug-ins y colaborar con avances relacionados con la extracción de registros de eventos de los sistemas de información (Van der Aalst et al., 2009). Estos desarrollos han mejorado la capacidad para realizar análisis de Minería de Procesos y es considerada como la mejor herramienta en este dominio, actualmente; la versión 6.5 es la más reciente (Arias y Rojas, 2016).

3.8 Relación de técnicas Minería de Datos y Minería de Procesos

La DM, como se mencionó anteriormente estudia métodos y algoritmos que permiten la extracción automática de información sintetizada, la cual facilita caracterizar las relaciones escondidas en la gran cantidad de datos (Martínez, 2001). Existe una relación entre la DM y PM, pero primero debemos distinguir la diferencia conceptual entre la DM y PM. Mientras la primera es utilizada para encontrar patrones en grandes volúmenes de datos, en una relación de patrones y datos; la PM encuentra las relaciones del proceso dentro de los datos, encontrando información acerca de los procesos de la organización.

Tabla 0.5 Relación entre técnicas de Minería de Procesos con Minería de Datos.

Técnicas en Minería de Datos	Descripción	Técnicas en Minería de Procesos
Reglas de Asociación	Descubrir hechos que ocurren en común dentro de un determinado conjunto de datos.	Descubrir un Modelo
Clustering o Agrupamientos	Agrupar los que estén más cercanos, aquellos que tengan características comunes.	Mejorar un Modelo
Árboles de Decisión	Representar y categorizar una serie de condiciones que suceden de forma sucesiva.	Monitorear un Modelo

En la Tabla 0.5 se muestran las tres técnicas de PM (Descubrimiento, Mejora y Monitoreo), donde son comparadas con algunas de las técnicas de DM. La técnica de descubrimiento, toma el registro de los eventos y produce un modelo sin usar ninguna información a-priori, por eso se le relaciona con las reglas de asociación, donde esta técnica encuentra las cosas en común, en este caso, las relaciones entre los procesos. Mientras que la mejora, apoya con extender o mejorar un modelo existente utilizando la información

acerca del proceso real, compara un modelo que ya existe contra un nuevo registro de eventos, de esta forma al usar agrupamientos por características similares, se encuentran las relaciones entre el modelo anterior y el modelo nuevo. Finalmente, el tercer tipo de PM busca medir la conformidad entre el modelo y la realidad, de esta forma, un árbol de decisión donde se modela el proceso, es una forma de verificar que según los registros el proceso de este realizando correctamente.

3.9 Conclusiones del capítulo

La revisión sistemática comprobó que existe un creciente interés en la PM por las organizaciones de diversos sectores, sobre todo en las organizaciones de desarrollo de software. También se identificaron los algoritmos difuso y heurístico como los más sencillos y viables para analizar los procesos organizacionales.

Se hace énfasis en la multidisciplinariedad que existe en la SPI y la PM como se explicó en la Figura 1.2. Dicha figura muestra como el proceso centrado en el entorno de los Procesos de software, donde la PM es la información que se requiere como entrada al modelo de procesos de software. Se realizó una traza entre Reglas de Asociación, Clustering o Agrupamientos y Árboles de decisión de DM y las tres técnicas de PM (Descubrimiento, Mejora y Monitoreo del modelo) y de esta forma explicar la relación entre ambas disciplinas.

Capítulo 4. Modelado de Áreas de Procesos de CMMI

En este capítulo, se explica el desarrollo para obtener los registros de eventos sintéticos para realizar el análisis de las actividades de las áreas de proceso PP y PMC. En primer lugar, se modela el proceso individual y posteriormente, se procede a describir los escenarios.

4.1 Incidencia de la Minería de Procesos en un Programa SPI basado en CMMI-DEV v1.3

Existen seis principios básicos explicados en la sección 3.8.2, que se deben considerar al aplicar PM: 1) Los datos de registro de eventos deberán ser tratados como de primera clase; 2) La extracción de registros de eventos deberá ser guiada por preguntas; 3) Se deberá dar soporte a concurrencia, elección y otros conceptos básicos de control de flujo; 4) Los eventos deberán estar relacionados con elementos del modelo; 5) Se deberá tratar a los modelos como abstracciones útiles de la realidad; 6) La Minería de Procesos deberá ser un proceso continuo (van der Aalst et al, 2012).

En la Figura 0.1, se propone un modelo integral para la incidencia de Minería de Procesos en proyectos SPI como interdisciplinario de ambas disciplinas (Principios 3 y 5). Se aprecia que Minería de Procesos se basa en registros de eventos, con el objetivo de realizar análisis y extraer el conocimiento del modelo, mejorar y ampliar los procesos de organización (Principios 1 y 2). La información no sólo se puede extraer de los sistemas de información disponibles dado que los procesos dejan evidencias de diversos tipos como foros, grupos de noticias, correos electrónicos, sitios web, sistemas de monitoreo, sistemas de gestión de configuración y también proporciona información importante sobre un comportamiento del proceso. 5) (Velazquez-Solis et al., 2016). La figura muestra como la Minería de Procesos apoya a los procesos de la organización, los cuales en conjunto con los Proyectos organizacionales generan los Registros de eventos.

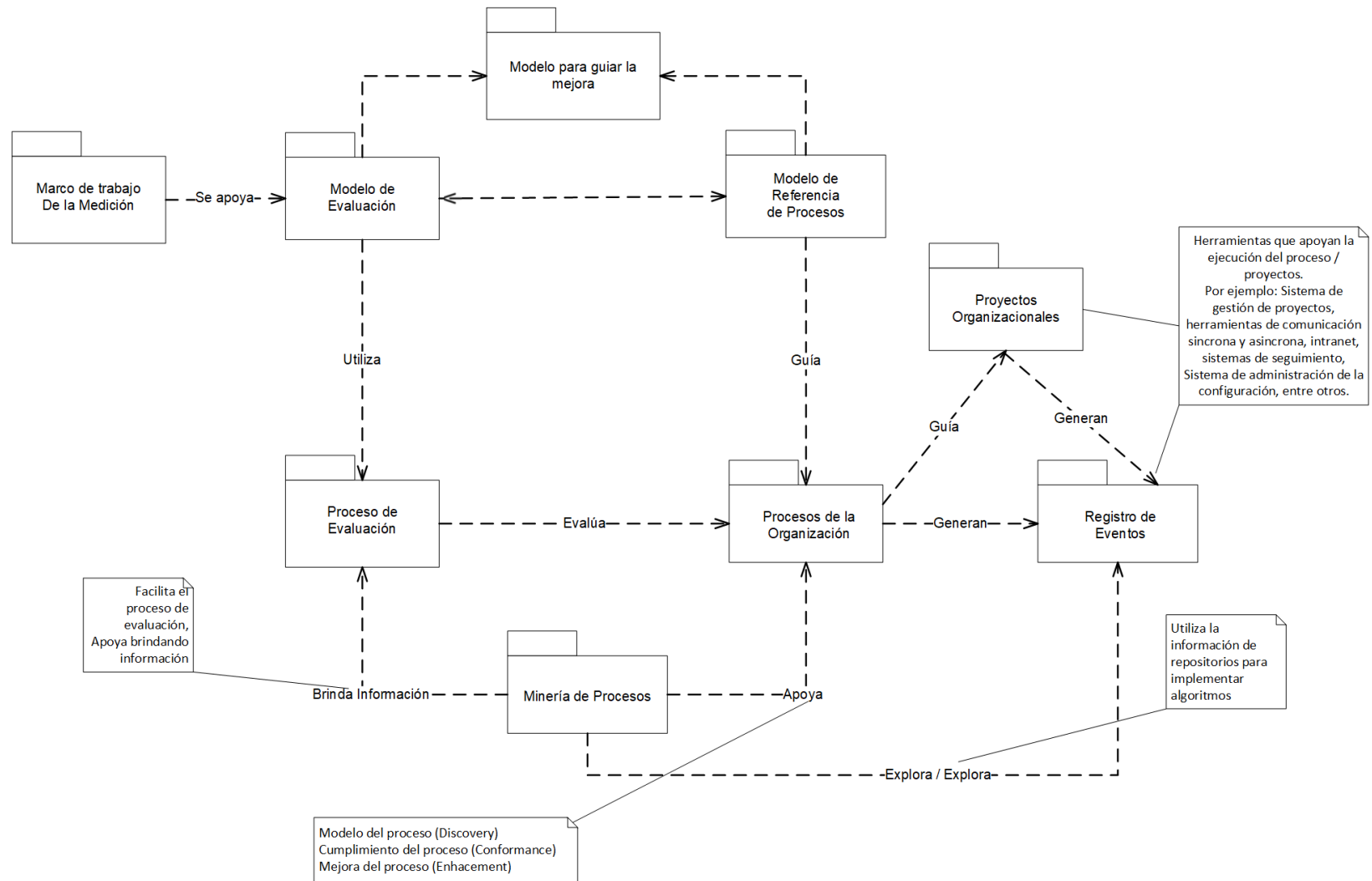


Figura 0.1 Modelo Integral para la incidencia de la Minería de Procesos en proyectos de mejora de procesos de software .

Así, la Minería de Procesos explora y explota estos registros de eventos con apoyo de las técnicas y algoritmos mencionados en la sección 2.8. Por lo que los registros de eventos generados por las áreas de proceso de CMMI, podrían obtener un modelo de proceso para compararlo con la evidencia requerida en el proceso de evaluación SCAMPI, las áreas de proceso establecidas para un nivel de capacidad de proceso específico y/o mejorar el modelo de proceso utilizando el siguiente ciclo de mejora (Principios 2, 4, 5 y 6) (Velazquez-Solis et al., 2016).

El autor Arias (2016), recomienda cuatro pasos principales para aplicar Minería de Procesos en un registro de eventos real. En el caso de este experimento, se cuenta con un registro sintético, sobre el cual se usan dos herramientas de Minería de Procesos para el análisis de los datos. La ejecución de estos pasos permite obtener resultados que aportan un valor para las personas encargadas de la administración de procesos en una organización, quienes desean analizar sus procesos en busca de oportunidades de mejora.

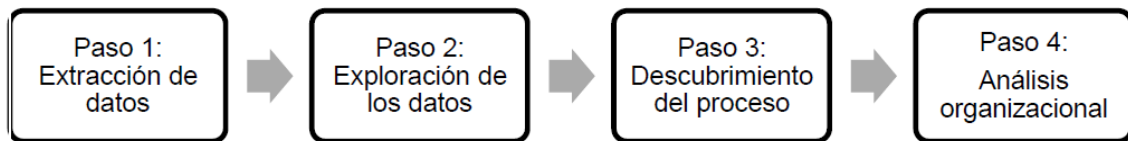


Figura 0.2 Metodología para aplicar Minería de Procesos (Arias y Rojas, 2016).

En la Figura 0.2 se indican los cuatro pasos para analizar un proceso mediante la disciplina de PM. En el paso 1, se extraen los datos de los sistemas de información con el objetivo de construir el registro de eventos, de esta forma se identifican las fuentes de información, extracción y transformación de los datos, consolidándolos en un solo archivo de registro. Durante el paso 2 los datos se cargan dentro de la herramienta de análisis exploratorio, de esta manera buscar las principales características del proceso, información de desempeño y filtrar la información para el análisis. Posteriormente, el paso 3 nos ayuda a descubrir el modelo del proceso de negocio, identificando modelos de procesos con sus respectivas actividades y flujos. Finalmente en el paso 4, se aplican métricas asociadas con la perspectiva organizacional, descubriendo relaciones de interacción entre ejecutores y actividades (Arias y Rojas, 2016).

Al tratarse de un experimento con un registro de eventos sintético, se adaptó la metodología sugerida en la figura anterior, de esta manera en el paso 1 se debe llevar a cabo diferentes tareas para generar la información de los registros de eventos y así simular

la extracción de datos. Se seleccionaron dos áreas de procesos (*Project Planning*, PP por sus siglas en inglés y *Project Monitoring and Control*, PMC por sus siglas en inglés) de CMMI-DEV v1.3.

En PP se establecen y mantienen los planes del proyecto, describiendo todas las actividades para cumplir con los criterios mínimos en un nivel 2 de madurez, mientras que en PMC se encarga de apoyar en revisar el progreso del proyecto para que se puedan tomar las acciones correctivas apropiadas (Chrissis, 2011). Con el objetivo de visualizar las actividades y tareas que mayor impacto tenían, así como los productos de trabajo que se obtenían de estas, ambas áreas de procesos fueron segmentadas. Primero PP fue segmentada en tres partes para ser analizada con base en las metas específicas, SG1 - Establecer estimaciones, SG2 – Desarrollar un plan de proyecto y SG3 – Obtener el compromiso con el plan; mientras PMC fue segmentada en dos partes SG1 - Monitorizar el proyecto frente al plan y SG2 Gestionar las acciones correctivas hasta su cierre. Las Tablas de la 4.1 a la 4.5 muestran la información de cada una de estas metas específicas, con las cuales posteriormente se realizaron modelos bajo la simbología BPMN para simular un proceso que desarrollará las actividades requeridas y obtener los productos de trabajo como evidencia.

Tabla 0.1 Elementos de PP_SG1 Establecer Estimaciones.

PP_SG1 - Establecer estimaciones				
Objetivo: Establecer y mantener las estimaciones de los parámetros de planificación del proyecto.				
Roles	Identificador	Actividad	Tareas	Productos de Trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Administrativo ✓ Programador ✓ Soporte técnico (Líder de Proyecto) ✓ Consultor ✓ Cliente 	PP_SG1_N2_A1	Estimar el alcance del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseñar una estructura de descomposición del trabajo (WBS) basándose en la arquitectura y alcance funcional. ✓ Crear paquetes de trabajo con detalle para especificar estimaciones de tareas, responsabilidades y calendarios. ✓ Identificar el producto o los componentes que serán adquiridos de forma externa. ✓ Identificar lo que podrá reutilizarse. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ WBS ✓ Descripción de las tareas ✓ Descripción de los paquetes de trabajo ✓ Minutas de la Reunión.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporte técnico (Líder de Proyecto) ✓ Programador ✓ Consultor 	PP_SG1_N2_A2	Establecer las estimaciones de los atributos del producto de trabajo y de las tareas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar los requerimientos técnicos para el proyecto. ✓ Aplicar métodos para determinar los atributos de los productos de trabajo y de las tareas que serán usados para estimar los requerimientos de recursos. ✓ Estimar los atributos de los productos de trabajo y tareas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tamaño y complejidad de las tareas y de los productos de trabajo. ✓ Modelos de estimación. ✓ Estimaciones de los atributos. ✓ Minutas de Reunión.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporte Técnico (Líder de Proyecto) ✓ Administrativo de RH. ✓ Programador 	PP_SG1_N2_A3	Definir las fases del ciclo de vida del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seleccionar la metodología para el desarrollo del proyecto, para definir sus fases. ✓ Capacitar al personal sobre la metodología de ser necesario. ✓ Definir un procedimiento para el seguimiento y control de la correcta aplicación de la metodología. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Metodología para el desarrollo. ✓ Fases del ciclo de vida del proyecto. ✓ Minutas de Reunión
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporte técnico (Líder de Proyecto) ✓ Administrativo ✓ Programador 	PP_SG1_N2_A4	Estimar el esfuerzo y el costo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recopilar datos históricos para determinar los atributos de los productos de trabajo, tareas y hacer una estimación de horas y costo. ✓ Incluir la necesidad de infraestructura y capacitaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estimaciones del esfuerzo del proyecto ✓ Estimaciones del costo del proyecto ✓ Minutas de Reunión.

Tabla 0.2 Elementos de PP_SG2 Desarrollar un plan de proyecto.

PP_SG 2 – Desarrollar un plan de proyecto				
Objetivo: Establecer y mantener un plan de proyecto como base para gestionar el proyecto; tomando en consideración los aspectos relacionados al presupuesto, calendario, recursos, riesgos				
Roles	Identificador	Actividad	Tareas	Productos de Trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Administrativo ✓ Programadores ✓ Soporte técnico(Líder de Proyecto) ✓ Consultor 	PP_SG2_N2_A1	Establecer el presupuesto y calendario	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar Hitos principales. ✓ Identificar restricciones. ✓ Identificar las dependencias de las tareas. ✓ Definir el presupuesto y el calendario. ✓ Establecer las acciones correctivas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Calendario del proyecto ✓ Dependencias en el calendario ✓ Presupuesto para el proyecto ✓ Minuta de la reunión
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Administrativo ✓ Soporte técnico(Líder de Proyecto) ✓ Clientes 	PP_SG2_N2_A2	Identificar los riesgos del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar Riesgos ✓ Documentar esos riesgos ✓ Revisar y obtener el acuerdo con las partes interesadas relevantes sobre la completitud y certeza de los riesgos documentados. ✓ Corregir los riesgos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Documentación de Riesgos identificados ✓ Conocimiento de impacto y ocurrencia de los riesgos ✓ Minuta de la reunión
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Administrativo ✓ Programadores ✓ Soporte Técnico(Líder de Proyecto) ✓ Consultor 	PP_SG2_N2_A3	Planificar la gestión de datos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Establecer requerimientos y procedimientos para asegurar la privacidad y seguridad de datos. ✓ Establecer el mecanismo para almacenar los datos y acceder a ellos. ✓ Determinar los datos para el proyecto que serán identificados, recogidos y distribuidos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plan de gestión de datos ✓ Lista de datos gestionados ✓ Requerimientos y procedimientos de privacidad y seguridad. ✓ Mecanismo de recuperación, reproducción y distribución de datos. ✓ Calendario para recolección de datos del proyecto. ✓ Listado de datos a recolectar. ✓ Minuta de la reunión.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Administrativo ✓ Soporte Técnico(Líder de Proyecto) 	PP_SG2_N2_A4	Planificar los recursos del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar técnicas de estimación de recursos. ✓ Determinar los requerimientos de los recursos del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Requerimientos de instalaciones, equipamiento y componentes. ✓ Paquetes de trabajo del WBS. ✓ Diccionario de tareas del WBS. ✓ Requerimientos de personal en tamaño y alcance del proyecto. ✓ Minuta de la reunión.

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Administrativo ✓ Programadores ✓ Soporte Técnico(Líder de Proyecto) ✓ 	PP_SG2_N2_A5	Planificar el conocimiento y las habilidades necesarias	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar el conocimiento y habilidades necesarios para el proyecto. ✓ Evaluar conocimientos y habilidades disponibles. ✓ Seleccionar los mecanismos para proporcionar el conocimiento y habilidades necesarios. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inventario de habilidades necesarias para el proyecto. ✓ Planes de capacitación para el personal. ✓ Requerimientos para nuevas contrataciones. ✓ Minuta de la reunión.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporte Técnico. (Líder de Proyecto) ✓ Consultor del área técnica. ✓ Clientes 	PP_SG2_N2_A6	Planificar la incorporación de las partes interesadas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar las partes interesadas a participar en cada fase del ciclo de vida del proyecto. ✓ Determinar las funciones y grado de interacción con las actividades del proyecto. ✓ Identificar la experiencia de los involucrados. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plan para involucrar las partes interesadas. ✓ Minuta de la reunión.

Tabla 0.3 Elementos de PP_SG3 Obtener el compromiso con el plan.

PP_SG3 – Obtener el compromiso con el Plan				
Objetivo: Establecer y mantener las estimaciones de los parámetros de planificación del proyecto.				
Roles	Identificador	Actividad	Tareas	Productos de Trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporte técnico(Líder de Proyecto) ✓ Administrativo ✓ Consultor 	PP_SG3_N2_A1	Revisar los planes que afectan al proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisar y comprender el alcance del proyecto, objetivos, plan de riesgo, roles y compromisos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registro de las observaciones realizadas al plan que afectan al proyecto.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gerencia ✓ Soporte Técnico(Líder de Proyecto) ✓ Administrativo ✓ ✓ 	PP_SG3_N2_A2	Reconciliar los niveles de trabajo y recursos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar la diferencia entre los recursos estimados y los disponibles ✓ Establecer acciones para conciliar o mitigar la diferencia identificada. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Métodos y parámetros de estimación corregidos. ✓ Presupuestos renegociados. ✓ Calendarios corregidos. ✓ Lista de requerimientos corregida. ✓ Acuerdos renegociados con las partes interesadas.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporte técnico(Líder de Proyecto) ✓ Administración Cliente ✓ Consultor 	PP_SG3_N2_A3	Obtener el compromiso con el plan.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar el soporte necesario y negociar los compromisos con las partes interesadas relevantes. ✓ Documentar y asegurar los compromisos de la organización, tanto completos como provisionales. ✓ Revisar los compromisos internos con la dirección. ✓ Identificar los compromisos sobre las interfaces entre los elementos en el proyecto, y con otros proyectos y unidades de la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peticiones de compromisos documentadas. ✓ Compromisos aceptados documentados.

Tabla 0.4 Elementos de PMC_SG1 Monitorizar el proyecto frente al plan.

PMC_SG1 Monitorizar el proyecto frente al plan				
El propósito de la Monitorización y Control del Proyecto (PMC) es proporcionar una comprensión del progreso del proyecto para que se puedan tomar las acciones correctivas apropiadas, cuando el rendimiento del proyecto se desvíe significativamente del plan.				
Roles	Identificador	Actividad	Tareas	Productos de Trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico ✓ Responsable de la Gestión de Proyectos 	PMC_SG1_N2_A1	Monitorizar los parámetros de planificación del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Monitorizar el progreso frente al calendario. ✓ Monitorizar los costos y el esfuerzo empleado en el proyecto. ✓ Monitorizar los atributos de los productos de trabajo y de las tareas. ✓ Monitorizar los recursos proporcionados y los recursos utilizados. ✓ Monitorizar el conocimiento y las habilidades del personal del proyecto. ✓ Documentar las desviaciones significativas en los parámetros de planificación del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registros del rendimiento del proyecto. ✓ Registros de las desviaciones significativas. ✓ Informes de rendimiento de costos.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico ✓ Responsable de la Gestión de Proyectos ✓ Cliente 	PMC_SG1_N2_A2	Monitorizar los compromisos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisar los compromisos (tanto externos como internos) con regularidad. ✓ Identificar los compromisos que no se han cumplido o que están en riesgo significativo de no cumplirse. ✓ Documentar los resultados de las revisiones de los compromisos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registros de las revisiones de los compromisos.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico ✓ Responsable de la Gestión de Proyectos 	PMC_SG1_N2_A3	Monitorizar los riesgos del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisar periódicamente la documentación de riesgos en el contexto del estado y de las circunstancias actuales del proyecto. ✓ Modificar la documentación de riesgos, a medida que se va disponiendo de información adicional. ✓ Comunicar el estado de los riesgos a las partes interesadas relevantes. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registros de la monitorización de los riesgos del proyecto.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico 	PMC_SG1_N2_A4	Monitorizar la gestión de los datos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisar periódicamente las actividades de gestión de los datos frente a su descripción en el plan de proyecto. ✓ Identificar y documentar las cuestiones significativas y sus impactos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registros de la gestión de los datos.

			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Documentar los resultados de las revisiones de las actividades de gestión de los datos. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico 	PMC_SG1_N2_A5	Monitorizar la involucración de las partes interesadas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisar periódicamente el estado de la involucración de las partes interesadas. ✓ Identificar y documentar las cuestiones significativas y sus impactos. ✓ Documentar los resultados de las revisiones del estado de la involucración de las partes interesadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registros de la involucración de las partes interesadas.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico ✓ Responsable de la Gestión de Proyectos 	PMC_SG1_N2_A6	Llevar a cabo las revisiones del progreso.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comunicar con regularidad a las partes interesadas relevantes el estado de las actividades y los productos de trabajo asignados. ✓ Revisar los resultados de la recogida y del análisis de las medidas para controlar el proyecto. ✓ Identificar y documentar las cuestiones y las desviaciones significativas frente al plan. ✓ Documentar las peticiones de cambio y los problemas identificados en los productos de trabajo y en los procesos. ✓ Documentar los resultados de las revisiones. ✓ Seguir las peticiones de cambio y los informes de problemas hasta su cierre. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Resultados documentados de la revisión del proyecto.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico ✓ Responsable de la Gestión de Proyectos 	PMC_SG1_N2_A7	Llevar a cabo las revisiones de hitos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Llevar a cabo las revisiones de hitos con las partes interesadas relevantes en puntos significativos del calendario del proyecto, ✓ Revisar los compromisos, el plan, el estado y los riesgos del proyecto. ✓ Identificar y documentar las cuestiones significativas y sus impactos. ✓ Documentar los resultados de la revisión, los elementos de acción y las decisiones. ✓ Seguir los elementos de acción hasta su cierre. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Resultados documentados de las revisiones de hitos.

Tabla 0.5 Elementos de PMC_SG2 Gestionar las acciones correctivas hasta su cierre.

PMC_SG2 Gestionar las acciones correctivas hasta su cierre				
Las acciones correctivas se gestionan hasta su cierre cuando el rendimiento o los resultados del proyecto se desvían significativamente del plan.				
Roles	Identificador	Actividad	Tareas	Productos de Trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico ✓ Responsable de la Gestión de Proyecto 	PMC_SG2_N2_A1	Analizar las cuestiones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recopilar las cuestiones para su análisis. ✓ Analizar las cuestiones para determinar la necesidad de acciones correctivas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lista de cuestiones que requieren acciones correctivas.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico ✓ Responsable de la Gestión de Proyectos 	PMC_SG2_N2_A2	Llevar a cabo las acciones correctivas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar y documentar las acciones apropiadas necesarias para tratar las cuestiones identificadas. ✓ Revisar y obtener acuerdos con las partes interesadas relevantes sobre las acciones a tomar. ✓ Negociar los cambios a los compromisos internos y externos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planes de acciones correctivas.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Responsable de la Administración del Proyecto Especifico ✓ Responsable de la Gestión de Proyectos 	PMC_SG2_N2_A3	Gestionar las acciones correctivas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Monitorizar las acciones correctivas hasta su finalización. ✓ Analizar los resultados de las acciones correctivas para determinar su eficacia. ✓ Determinar y documentar las acciones apropiadas para corregir las desviaciones producidas en los resultados planificados debido a las acciones correctivas realizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Resultados de las acciones correctivas

4.2 Descripción de los escenarios

Desde la perspectiva de recursos, los roles representan el conocimiento implícito y son quienes realizan las actividades asignadas en cada proceso. Como evidencia de la implantación de las áreas de procesos, CMMI-DEV v1.3 utiliza la revisión de la ejecución de las prácticas, productos de trabajo y entrevistas dirigidas a los roles involucrados (Chrissis, 2011). Sin embargo, no existe el concepto de recurso humano o rol pero si se considera la importancia del término *people*. Por tal motivo, se enfatiza el aprovechar y optimizar el tipo y nivel de conocimiento requerido por los roles en cada ciclo de mejora (Flores ríos et al., 2011).

Los escenarios para crear el registro de eventos sintéticos asumen que existe un equipo con 6 personas que desempeñan distintos roles (Tabla 0.6 Roles extraídos de MoProSoft) dentro de la organización y que cumplen con una jornada laboral de lunes a viernes, con un horario de 8:00 a 13:00 y de 15:00 a 19:00. En un calendario del 27 de Febrero al 10 de Abril se desarrollan las actividades del área de procesos PP para 4 diferentes proyectos en desarrollo.

El problema de asignación es un tipo de problema de transporte equilibrado en el que las restricciones de asignación de los suministros y demandas se interpretan en una forma binaria, son iguales a 1, para asegurar la asignación de actividades a roles, los trabajos a celdas de manufactura, entre otros. El objetivo está relacionado con la disposición de recursos para la realización de productos a costo mínimo. Por tal motivo, este problema es uno de los principales en la optimización discreta. Un algoritmo para la asignación de recursos es el Método Húngaro, recomendado para brindar una solución inadmisibles y del tipo primal (minimización) (Witenberg, 2000).

Para presentar la utilidad de implementar técnicas, como un método heurístico que brinda una solución al problema de asignación del recurso humano de un equipo de trabajo, se toman en cuenta los perfiles por nivel de conocimiento con que se valora el esfuerzo requerido de las dos áreas de procesos seleccionadas de CMMI-DEV v1.3. (Velazquez-Solis et al., 2016).

Tabla 0.6 Relación Actor- Rol en los escenarios hipotéticos.

Actor	Rol que desempeña
1	1. Responsable de la Administración del Proyecto Especifico
2	1. Responsable de la Administración del Proyecto Especifico
3	2. Programador
4	3. Responsable de la Gestión de Proyectos
5	4. Responsable de la Gestión de Recursos
6	2. Programador
7	5. Cliente

La asignación de recursos es un modelo de la programación lineal, en el cual la variable x_{ij} es del tipo binario, es decir, sólo toma valores de 0 y 1. La definición formal del problema de asignación (o problema de asignación lineal) es dado por dos conjuntos, A y T de igual tamaño, donde A son los suministros y T son los depósitos, juntos con una función peso $C: A \times T \rightarrow \mathbb{R}$, encuentra una biyección $f: A \rightarrow T$ como la función de costo mínimo:

$$\begin{aligned} \sum_{a \in A} C(a, f(a)) X &\rightarrow \min \\ \text{s.a. } \sum_{1 \leq i, j \leq m} x_{ij} &= 1 \\ x_{ij} &\in \{1, 0\}. \end{aligned} \tag{1}$$

El problema es lineal porque la función a optimizar así como todas las restricciones contiene sólo términos lineales.

En las figuras 4.3 a la 4.7 se presentan los modelos BPMN para los procesos de PP y PMC respectivamente. Las primeras actividades realizadas son las de PP_SG1, donde se inicia con la creación del primer producto de trabajo, el WBS (A1.1). Este lo elabora el equipo el proyecto, y para su realización, deben tener ya los objetivos y los requerimientos del proyecto establecidos. El WBS define y determina los entregables por proyecto, así como la subdivisión de los paquetes de trabajo. En las actividades A1.4, A1.5, A1.9, el equipo del proyecto se encarga de sacar las estimaciones de costos, atributos y tareas, para de esta forma lograr desarrollar las fases del ciclo de vida del proyecto (A1.11) y seleccionar la metodología adecuada (A1.13).

Las actividades de PP_SG2, incluyen identificar los hitos y las restricciones (A2.1), definir el presupuesto y calendario (A2.2), documentar los riesgos encontrados (A2.4). En la actividad A2.5 es importante aclarar que puede desembocar en diferentes escenarios, al obtener o no la aprobación de los acuerdos, podría obtenerse la firma (A2.7) o renegociar para corregirlos (A2.6). Establecer y evaluar requerimientos, procedimientos, habilidades, mecanismos (A2.8, A2.11, A2.14, A2.9, A2.12, A2.15). Todo esto, con el propósito de hacer converger todo en el plan global de proyecto (A2.18). Finalmente, en PP_SG3 se realizan actividades para revisar el alcance del proyecto, objetivos, plan de riesgo y compromisos (A3.1), se establecen calendarios y acuerdos finales (A3.3), se documentan y aseguran los compromisos (A3.5) y se aceptan (A3.7).

Por otra parte, tenemos las dos SG que integran PMC. Las primeras actividades son las de PMC_SG1, donde se monitorean calendarios, costos y esfuerzo, productos de trabajo, tareas, conocimiento y habilidades (A1.1), se realiza la documentación de las desviaciones con respecto al plan del proyecto (A1.2), se revisan, documentan y monitorean compromisos, partes involucradas (A1.3, A1.4, A1.6) y finalmente, se realizan revisiones de progresos e hitos (A.17, A1.8). Posteriormente, PMC_SG2 se gestionan las acciones correctivas que se determinen. En la actividad A2.1 se realiza el análisis necesario para determinar la necesidad de las acciones correctivas. Se documentan, revisan, negocian y obtienen nuevos acuerdos con todas las partes interesadas (A2.2, A2.3, A2.4).

Por último, se analizan los resultados de las acciones correctivas empleadas, para determinar las más apropiadas para corregir futuras desviaciones. Considerando cada una de las SG que componen a PP y PMC como un proceso individual, se plantearon dos posibles escenarios con cada una. El primero donde se cumplieran con el total de las actividades, mientras el segundo plantea la omisión de una o dos actividades y realizarlas en un orden diferente. De esta forma, se hace evidente cómo reaccionarían los algoritmos de PM en cada una de las situaciones.

En este capítulo, se observa cómo desde el nivel 2 (Gestionado) se garantiza que los procesos se planifican y ejecutan de acuerdo con las políticas; los proyectos de software se conforman con recurso humano calificado que dispone de recursos adecuados para producir resultados controlados. El mayor número de evaluaciones SCAMPI a nivel internacional corresponden a organizaciones con nivel 3 de madurez (Definido, considerado el nivel que requiere más esfuerzo y conocimiento técnico, tomando en cuenta el mayor número de áreas de procesos asociadas a las categorías que se evalúan dentro de este nivel). Como se observa en la sección 2.3, las áreas de procesos PP y PMC corresponden a la categoría de Gestión de Proyectos, la cual requiere un mayor dominio de conocimiento técnico del recurso humano del equipo. La asignación de recursos por el método húngaro ayuda a examinar otras variables cuantitativas además de la duración, los costos, defectos, número de proyectos en los que ha participado, esfuerzo o etapas del modelo de desarrollo ayudando a controlar y predecir la calidad del producto de software (Velazquez-Solis et al., 2016). Es muy importante que la descripción de escenarios se considere en las organización de desarrollo de software, debido a que apoyaría a caracterizar las variables o recursos mayormente utilizados para su asignación permitiendo a un equipo de trabajo potencializar el modelo obtenido.

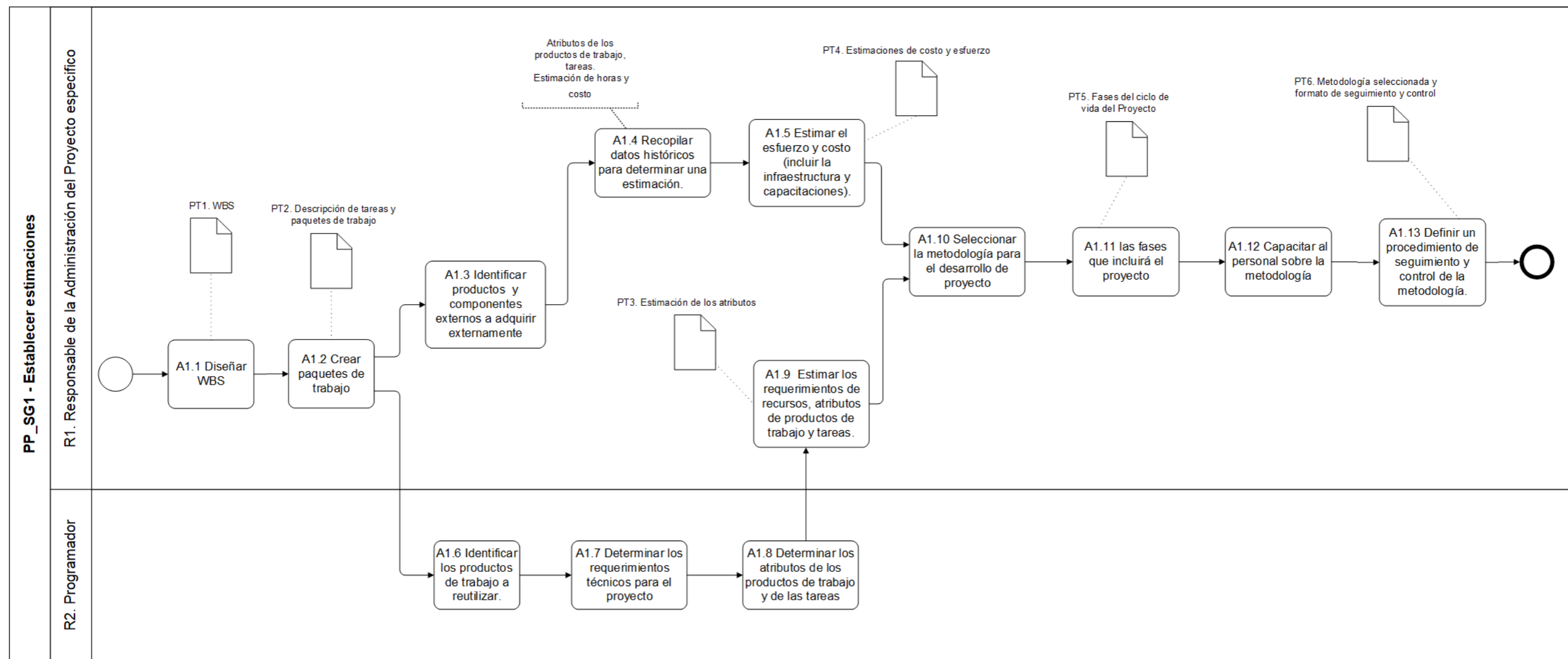


Figura 0.3 Diagrama de Project Planning para las metas específicas 1 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3

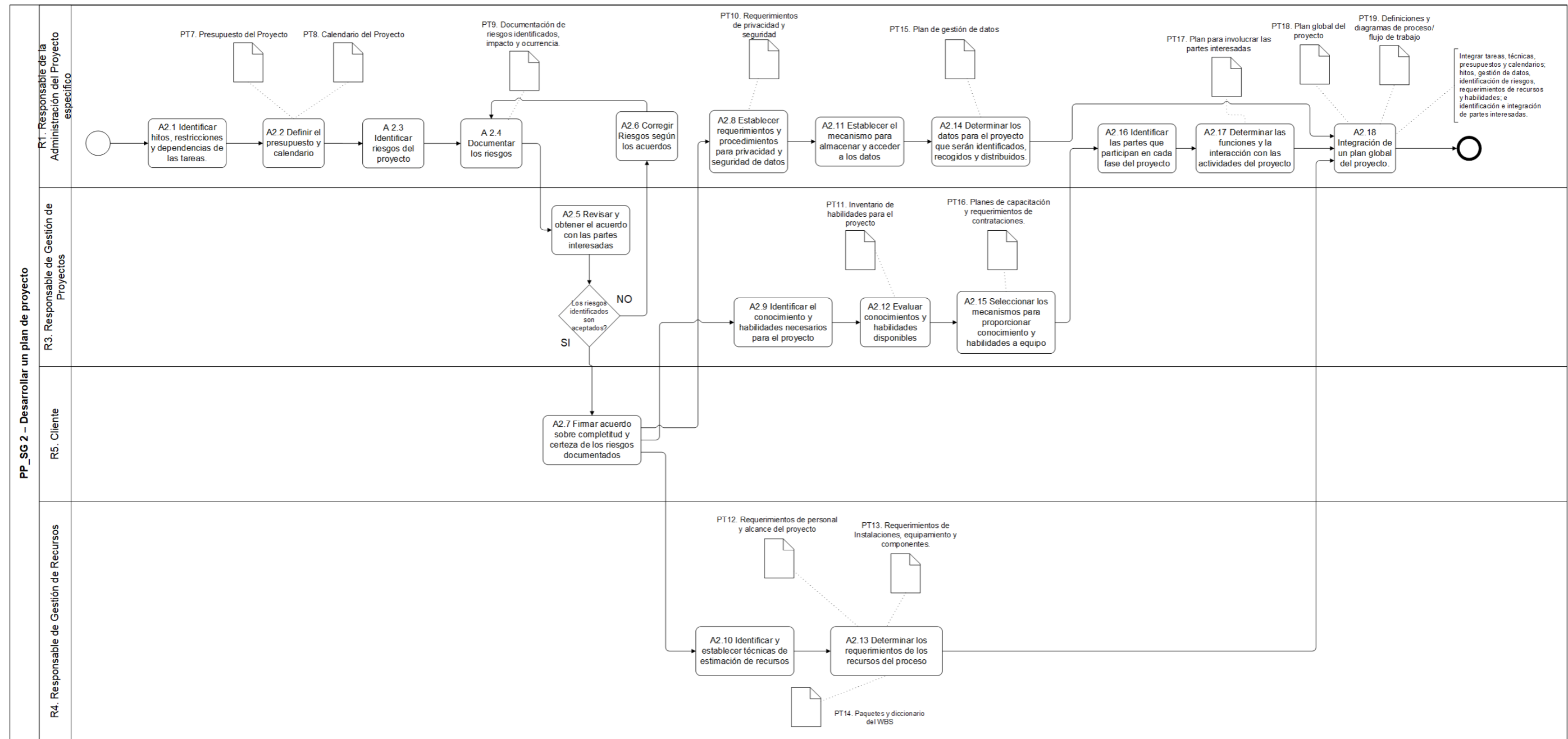


Figura 0.4 Diagrama Project Planning para las metas específicas 2 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3

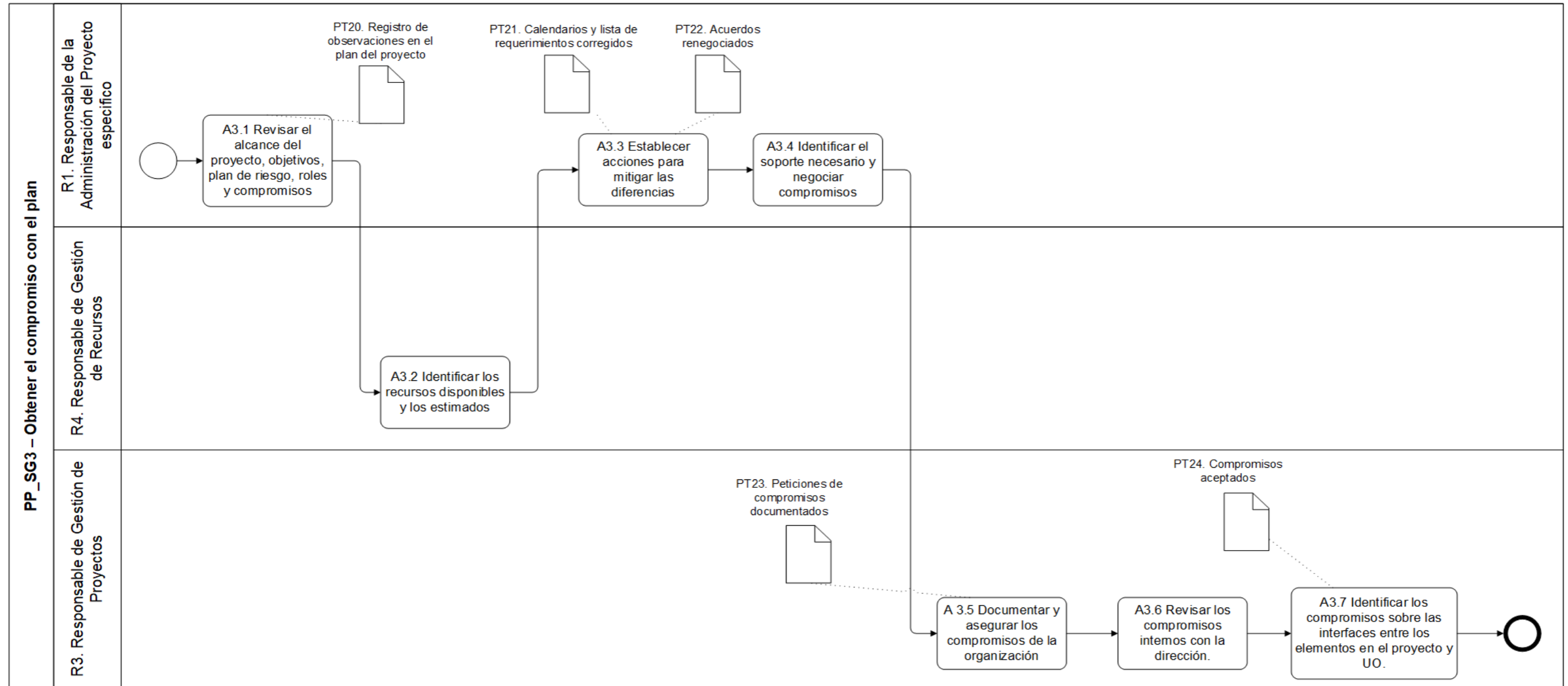


Figura 0.5 Diagrama Project Planning para las metas específicas 3 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3

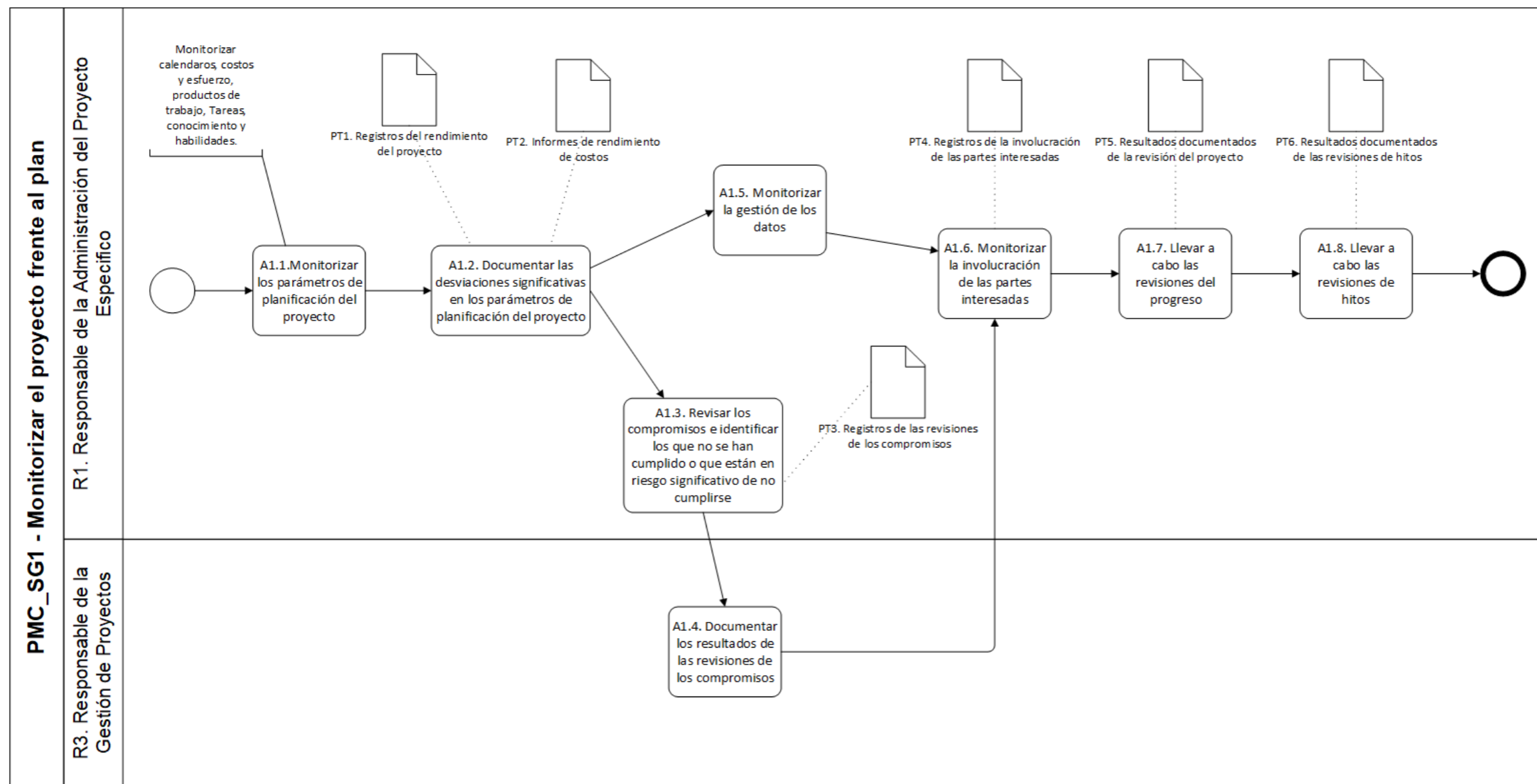


Figura 0.6 Diagrama Project Monitoring and Control para las metas específicas 1 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3

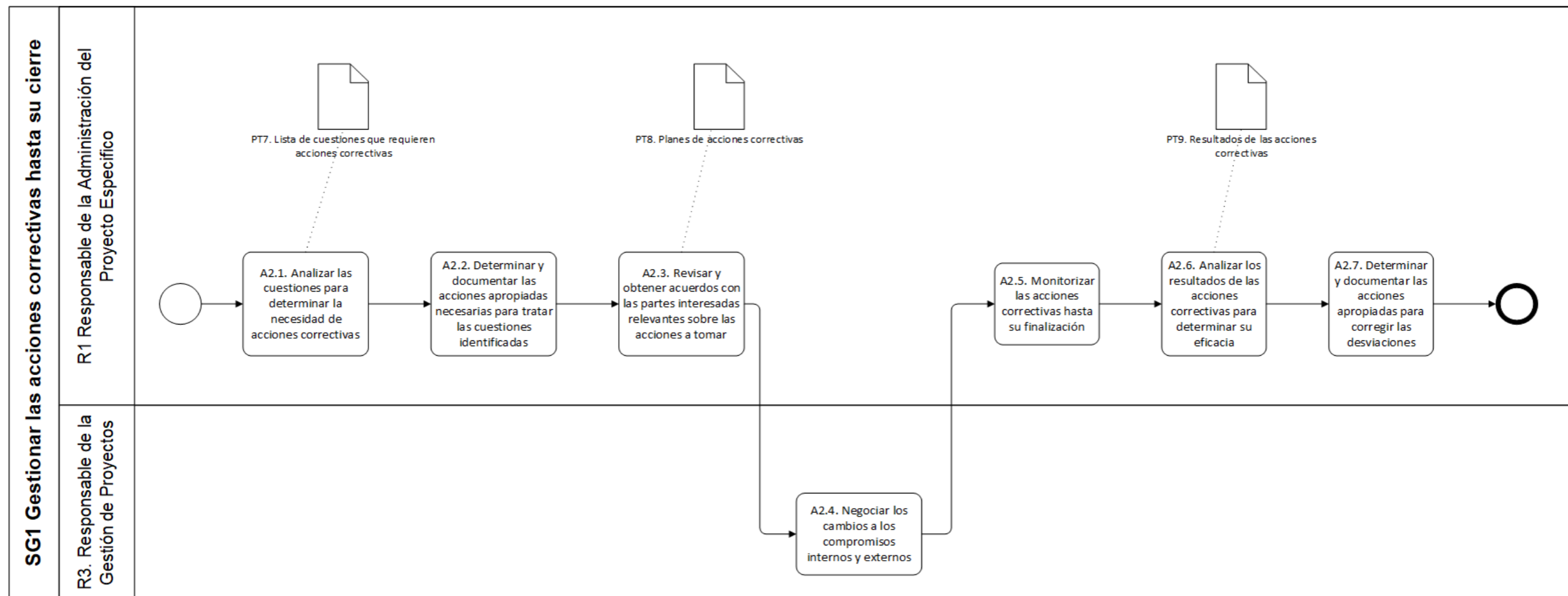


Figura 0.7 Diagrama Project Monitoring and Control para las metas específicas 2 en nivel 2 de madurez de CMMI-DEV v1.3

Capítulo 5. Análisis de los Resultados

Este capítulo presenta como se utilizan dos tipos de herramientas de Minería de Procesos para realizar el análisis de las actividades de las áreas de proceso PP y PMC. En primer lugar, se utiliza la herramienta Disco para hacer un análisis general del proceso. Luego, se recurrió a la herramienta ProM para aplicar algunas de las técnicas de PM relacionadas con el descubrimiento y el análisis organizacional.

A continuación, se muestra el detalle de los pasos ejecutados para el análisis de los procesos. Los Anexos del 1 al 5 muestran los registros de eventos sintéticos generados con los escenarios de prueba utilizados, estos registros de eventos poseen algunos aspectos básicos, como: Identificador para cada caso, el cual está compuesto por uno o varios eventos, un *timestamp* y una actividad. Cada actividad o línea en el log con su información se refiere a un evento.

5.1 Análisis Exploratorio

Disco es una herramienta que nos brinda información acerca del proceso, los casos que interactúan y las posibles variaciones que puede tener el proceso (Arias y Rojas, 2016). Ha sido diseñado para hacer la importación de datos sencilla mediante la detección automática de *timestamps*, recordando ajustes anteriores y cargando los conjuntos de datos en un par de pasos (Rozinat, 2017). Utiliza los formatos estándar para facilitar la interoperabilidad entre diferentes herramientas. Es por ello que los registros en formato MXML o XES se cargan mediante otras herramientas de minería de procesos, como el conjunto de herramientas académicas ProM. Disco considerando la interoperabilidad, importa y exporta todos los formatos estándar de registro de eventos que están en uso (Rozinat, 2017). La Figura 5.1 presenta la vista de dos pantallas de la herramienta, haciendo énfasis en la barra lateral izquierda y la información sobre el proceso en la parte derecha e inferior.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el proceso de PP y PMC de CMMI-DEV v1.3 en un nivel 2 de madurez, donde están las variantes de cada caso, el número de eventos, la cantidad de actividades, la mediana de duración de los casos y la información de que orden de ejecución tuvieron en cada caso las actividades al ser sometidos a un análisis exploratorio en la herramienta Disco.

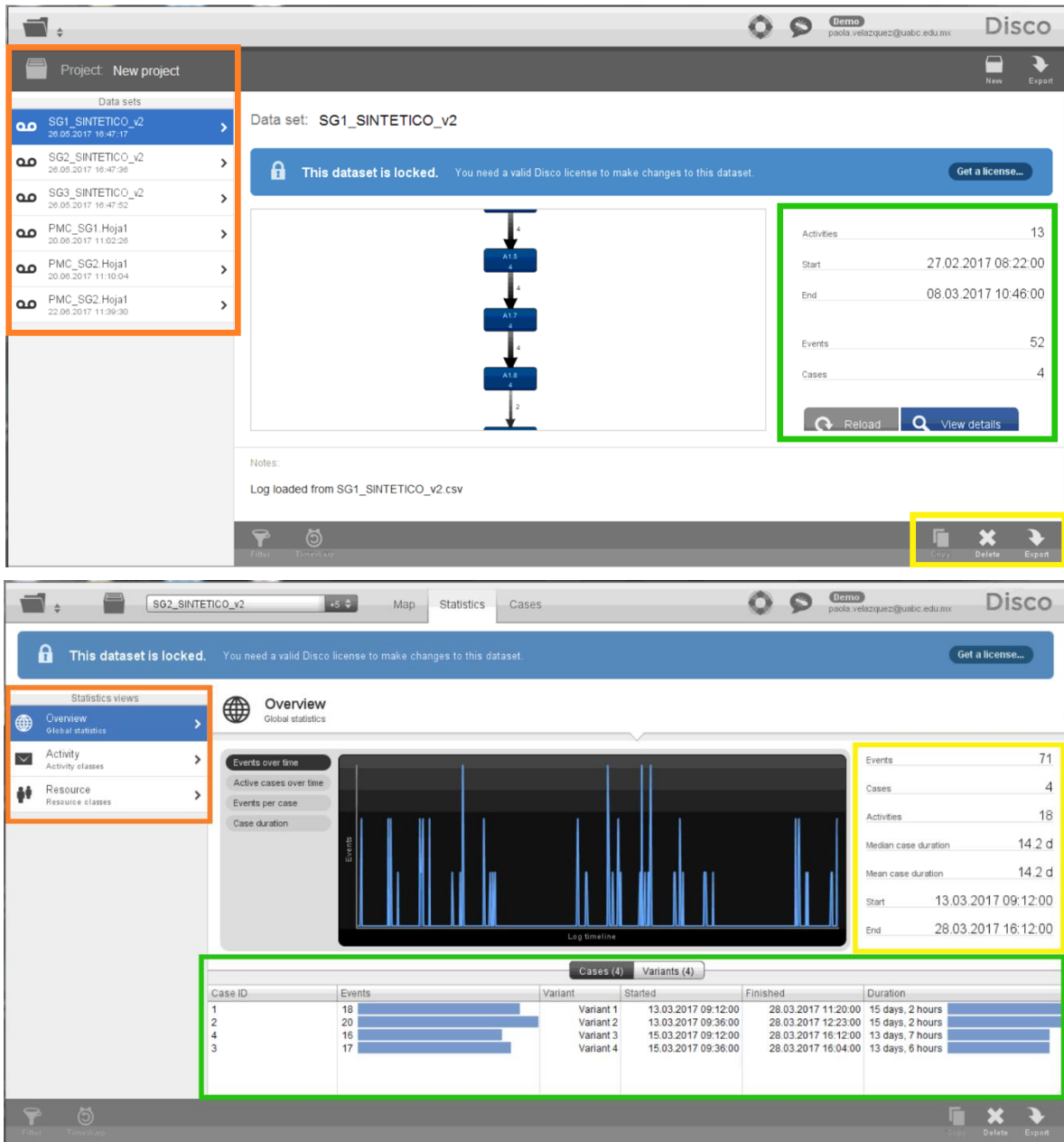


Figura 5.1 Vista de la herramienta Disco.

5.1.1 Project Planning - Specific Goal 1

El análisis con Disco correspondiente a PP_SG1 (Registro de eventos del anexo 1), primeramente determina la cantidad de variantes existentes dentro del proceso. En este el proceso tiene 4 tipos de casos, cada uno pertenece a una variante distinta del proceso; se entiende que una variante de proceso es una de las distintas alternativas para ejecutar un proceso, donde se

incluye un mayor o menor número de actividades, a partir de una actividad inicial hasta una actividad final.

El Diagrama de PP_SG1 con fuzzy miner ([Fuzzy Miner pp_sg1.pdf](#) en archivo de figuras), presenta el diagrama obtenido por la herramienta Disco (*Fuzzy Miner*), en donde al compararlo con la Figura 0.3 (Modelo BPMN propio) apreciamos un proceso diferente. Entonces existe una verificación de conformidad, la cual es usada para asegurarse si la realidad del diagnóstico obtenido coincide con los registros de eventos y el modelo del proceso, y viceversa (Velazquez-Solis et al., 2016). El proceso documentado en la Figura 0.3 divide sus actividades entre dos roles a partir de la actividad A1.2; sin embargo en el diagrama obtenido en Disco la división de las actividades es en A1.3, lo cual implica que las actividades de R1 son ejecutadas primero en esta parte. Posteriormente, las tareas que estaban establecidas como paralelas en la Figura 0.3, suceden de forma secuencial dentro de la ejecución de los eventos, en un orden donde R1 realiza las actividades antes que R2.

▼ Variant	Cases	Events	Median duration
Variant 1	1	13	3 days, 44 mins
Variant 2	1	13	2 days, 23 hours
Variant 3	1	13	5 days, 23 hours
Variant 4	1	13	5 days, 23 hours

Figura 5.2 Duración de las variantes del Proceso PP_SG1.

Las cuatro variantes (Figura 5.2) encontradas dentro de SG1 cuentan con 13 eventos cada una, lo que demuestra que se han realizado el total de las actividades establecidas en el proceso; sin embargo, al observar la media de la duración se encuentran diferentes tiempos para el cumplimiento de las actividades, relacionando de esta forma el grado de experiencia y experticia de cada uno de los equipos de trabajo (Velazquez-Solis et al., 2016).

La primera variante detectada fue el proyecto 2 con duración de 3 días con 44 minutos, fue identificado por los actores que participaban, las actividades involucradas en el proceso se ejecutaron con la misma frecuencia en el orden descrito en la Figura 5.3 (Izquierda). Por otro lado, la segunda variante detectada fue el proyecto 1 con duración de 2 días con 23 horas. Las actividades involucradas en el proceso, se ejecutaron con la misma frecuencia en el orden descrito en la figura 5.3 (derecha). En este proyecto se observa que se realizó primero la actividad A1.6, pero el algoritmo Fuzzy Miner no lo considero de alta relevancia.

	Activity	Resource	Date	Time		Activity	Resource	Date	Time
1	A1.1	Actor 2 - Rol 1	27.02.2017	08:22:00	1	A1.1	Actor 1 - Rol 1	27.02.2017	09:12:00
2	A1.2	Actor 2 - Rol 1	27.02.2017	11:04:00	2	A1.6	Actor 3 - Rol 2	27.02.2017	11:14:00
3	A1.3	Actor 2 - Rol 1	27.02.2017	12:30:00	3	A1.2	Actor 1 - Rol 1	27.02.2017	12:03:00
4	A1.6	Actor 6 - Rol 2	27.02.2017	15:10:00	4	A1.3	Actor 1 - Rol 1	27.02.2017	12:57:00
5	A1.4	Actor 2 - Rol 1	27.02.2017	15:25:00	5	A1.4	Actor 1 - Rol 1	27.02.2017	16:05:00
6	A1.5	Actor 2 - Rol 1	27.02.2017	17:17:00	6	A1.5	Actor 1 - Rol 1	28.02.2017	08:12:00
7	A1.7	Actor 6 - Rol 2	28.02.2017	09:26:00	7	A1.7	Actor 3 - Rol 2	28.02.2017	10:03:00
8	A1.8	Actor 6 - Rol 2	28.02.2017	12:18:00	8	A1.8	Actor 3 - Rol 2	28.02.2017	15:17:00
9	A1.12	Actor 2 - Rol 1	01.03.2017	04:05:00	9	A1.11	Actor 1 - Rol 1	01.03.2017	04:23:00
10	A1.9	Actor 2 - Rol 1	01.03.2017	09:19:00	10	A1.12	Actor 1 - Rol 1	01.03.2017	05:07:00
11	A1.10	Actor 2 - Rol 1	01.03.2017	10:13:00	11	A1.9	Actor 1 - Rol 1	01.03.2017	08:06:00
12	A1.11	Actor 2 - Rol 1	01.03.2017	12:48:00	12	A1.10	Actor 1 - Rol 1	01.03.2017	10:29:00
13	A1.13	Actor 2 - Rol 1	02.03.2017	09:06:00	13	A1.13	Actor 1 - Rol 1	02.03.2017	08:12:00

Figura 5.3 Variante 1 PP_SG1 Proyecto2 (Izquierda) Variante 2 PP_SG1 Proyecto1 (Derecha).

	Activity	Resource	Date	Time		Activity	Resource	Date	Time
1	A1.1	Actor 1 - Rol 1	02.03.2017	11:20:00	1	A1.1	Actor 2 - Rol 1	02.03.2017	11:16:00
2	A1.2	Actor 1 - Rol 1	02.03.2017	16:26:00	2	A1.2	Actor 2 - Rol 1	02.03.2017	16:30:00
3	A1.6	Actor 3 - Rol 2	03.03.2017	08:05:00	3	A1.3	Actor 2 - Rol 1	03.03.2017	09:02:00
4	A1.3	Actor 1 - Rol 1	03.03.2017	09:31:00	4	A1.6	Actor 6 - Rol 2	03.03.2017	09:19:00
5	A1.4	Actor 1 - Rol 1	03.03.2017	11:42:00	5	A1.4	Actor 2 - Rol 1	03.03.2017	11:36:00
6	A1.5	Actor 1 - Rol 1	03.03.2017	16:03:00	6	A1.5	Actor 2 - Rol 1	03.03.2017	15:55:00
7	A1.7	Actor 3 - Rol 2	06.03.2017	08:12:00	7	A1.7	Actor 6 - Rol 2	06.03.2017	08:10:00
8	A1.8	Actor 3 - Rol 2	06.03.2017	12:07:00	8	A1.8	Actor 6 - Rol 2	06.03.2017	11:49:00
9	A1.9	Actor 2 - Rol 1	06.03.2017	16:20:00	9	A1.9	Actor 1 - Rol 1	06.03.2017	16:03:00
10	A1.10	Actor 1 - Rol 1	07.03.2017	09:42:00	10	A1.10	Actor 2 - Rol 1	07.03.2017	09:30:00
11	A1.11	Actor 1 - Rol 1	07.03.2017	16:13:00	11	A1.11	Actor 2 - Rol 1	07.03.2017	11:15:00
12	A1.12	Actor 1 - Rol 1	07.03.2017	17:49:00	12	A1.12	Actor 2 - Rol 1	07.03.2017	12:47:00
13	A1.13	Actor 2 - Rol 1	08.03.2017	10:46:00	13	A1.13	Actor 1 - Rol 1	08.03.2017	10:18:00

Figura 5.4 Variante 3 PP_SG1 Proyecto4 (Izquierda) Variante 4 PP_SG1 Proyecto3 (Derecha).

La variante 3 corresponde a la ejecución de las actividades del Proyecto 4, este proyecto tuvo una duración mayor en esta parte específica, con 5 días y 23 horas; tal y como se aprecia en la Figura 5.4 (Izquierda). La misma duración que la variante 4 con el propósito de destacar la exactitud de la herramienta, se establecieron que las variantes 3 y 4, perteneciente al Proyecto3 y Proyecto4 tuvieran características similares en la ejecución de las actividades, pero con diferentes actores involucrados; de esta forma destacando una duración similar con diferente orden de actividades como aparece en la Figura 5.4.

Resource	▲ Frequency	Relative frequency
Actor 2 - Rol 1	20	38.46 %
Actor 1 - Rol 1	20	38.46 %
Actor 6 - Rol 2	6	11.54 %
Actor 3 - Rol 2	6	11.54 %

Figura 5.5 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG1.

Finalmente, está el análisis de los roles involucrados de la Figura 5.5, cabe destacar que Disco nos brinda la información necesaria en caso de que exista un mal balanceo de la carga de trabajo; en el caso de PP_SG1 se obtuvo una carga de trabajo equitativa a los actores asignados a Rol 1 y Rol 2, como se puede apreciar en la tabla de frecuencias.

5.1.2 Project Planning - Specific Goal 2

El segundo análisis, correspondiente a PP_SG2 (Registro de eventos del anexo 2) con la totalidad de las actividades realizadas, donde el proceso tiene 4 tipos de casos identificados, cada uno contiene una variante distinta del proceso. El PP_SG2 tiene una actividad donde existe una decisión (A2.5) que puede influir en aumentar la cantidad de actividades, por esto es que existe una diferencia marcada en cada variante del proceso. También se omitieron un par de actividades (A2.9 y A2.13) en una ocasión, dando como resultado el diagrama de PP_SG2 con fuzzy miner (Fuzzy_Miner_pp_sg2.pdf en archivo de figuras), diferente al diagrama establecido con BPMN en la sección 5.2, por el orden de ejecución y la cantidad de las actividades.

La Figura 5.6 muestra las frecuencias de las actividades de PP_SG2, donde la actividad A2.6 tiene una frecuencia menor por tratarse de la actividad de impacto por la decisión en A2.5. Al suceder esté evento la cantidad de veces que se realizan las actividades A2.4 y A2.5 son incrementadas en relación con el resto. En PP_SG2, la primera variante detectada fue el proyecto 1 con duración de 15 días y dos horas; las actividades involucradas en el proceso, con un total de 18 eventos ejecutados y 5 roles. Los eventos siguieron la secuencia que muestra la siguiente figura.

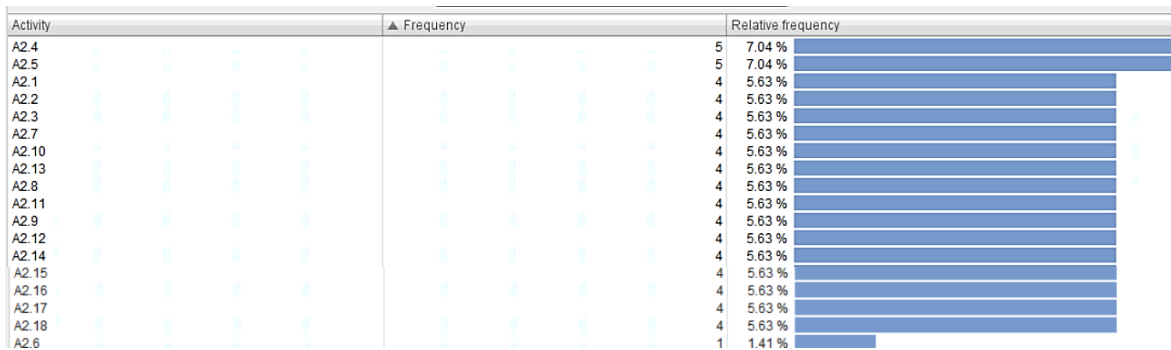


Figura 5.6 Relación de Frecuencia de Actividades PP_SG2.

Activity	Resource	Date	Time
A2.1	Actor 1 - Rol 1	13.03.2017	09:12:00
A2.2	Actor 1 - Rol 1	13.03.2017	12:14:00
A2.3	Actor 1 - Rol 1	14.03.2017	09:07:00
A2.4	Actor 1 - Rol 1	14.03.2017	11:27:00
A2.5	Actor 4 - Rol 3	15.03.2017	10:17:00
A2.7	Actor 7 - Rol 5	16.03.2017	10:08:00
A2.10	Actor 5 - Rol 4	16.03.2017	18:26:00
A2.13	Actor 5 - Rol 4	17.03.2017	15:12:00
A2.8	Actor 1 - Rol 1	17.03.2017	18:21:00
A2.11	Actor 1 - Rol 1	20.03.2017	10:41:00
A2.9	Actor 4 - Rol 3	21.03.2017	16:09:00
A2.12	Actor 4 - Rol 3	22.03.2017	10:54:00
A2.14	Actor 1 - Rol 1	22.03.2017	17:13:00
A2.13	Actor 5 - Rol 4	22.03.2017	17:35:00
A2.15	Actor 4 - Rol 3	23.03.2017	11:28:00
A2.16	Actor 1 - Rol 1	24.03.2017	17:20:00
A2.17	Actor 1 - Rol 1	27.03.2017	16:28:00
A2.18	Actor 1 - Rol 1	28.03.2017	11:20:00

Activity	Resource	Date	Time
A2.1	Actor 2 - Rol 1	13.03.2017	09:36:00
A2.2	Actor 2 - Rol 1	13.03.2017	12:24:00
A2.3	Actor 2 - Rol 1	14.03.2017	09:14:00
A2.4	Actor 2 - Rol 1	14.03.2017	11:06:00
A2.5	Actor 4 - Rol 3	14.03.2017	16:35:00
A2.6	Actor 2 - Rol 1	15.03.2017	10:58:00
A2.4	Actor 2 - Rol 1	16.03.2017	16:13:00
A2.7	Actor 7 - Rol 5	17.03.2017	10:08:00
A2.5	Actor 4 - Rol 3	17.03.2017	10:13:00
A2.8	Actor 2 - Rol 1	20.03.2017	09:36:00
A2.11	Actor 2 - Rol 1	21.03.2017	09:28:00
A2.9	Actor 4 - Rol 3	21.03.2017	12:49:00
A2.12	Actor 4 - Rol 3	21.03.2017	18:24:00
A2.10	Actor 5 - Rol 4	22.03.2017	10:47:00
A2.14	Actor 2 - Rol 1	22.03.2017	18:03:00
A2.13	Actor 5 - Rol 4	23.03.2017	12:15:00
A2.15	Actor 4 - Rol 3	23.03.2017	16:28:00

Figura 5.7 Variante 1 PP_SG2 Proyecto1 (Izquierda) Variante 2 PP_SG2 Proyecto2 (Derecha).

Variant	Cases	Events	Median duration
Variant 1	1	18	15 days, 2 hours
Variant 2	1	20	15 days, 2 hours
Variant 3	1	16	13 days, 7 hours
Variant 4	1	17	13 days, 6 hours

Figura 5.8 Duración de las variantes del Proceso PP_SG2.

Activity	Resource	Date	Time
A2.1	Actor 1 - Rol 1	15.03.2017	09:12:00
A2.2	Actor 1 - Rol 1	15.03.2017	11:20:00
A2.3	Actor 1 - Rol 1	15.03.2017	16:21:00
A2.4	Actor 2 - Rol 1	16.03.2017	18:17:00
A2.5	Actor 4 - Rol 3	20.03.2017	09:32:00
A2.7	Actor 7 - Rol 5	21.03.2017	09:00:00
A2.8	Actor 2 - Rol 1	21.03.2017	17:16:00
A2.11	Actor 2 - Rol 1	22.03.2017	09:38:00
A2.12	Actor 4 - Rol 3	22.03.2017	12:49:00
A2.10	Actor 5 - Rol 4	22.03.2017	16:09:00
A2.13	Actor 5 - Rol 4	23.03.2017	18:15:00
A2.14	Actor 2 - Rol 1	24.03.2017	11:04:00
A2.15	Actor 4 - Rol 3	24.03.2017	12:18:00
A2.16	Actor 2 - Rol 1	27.03.2017	10:31:00
A2.17	Actor 2 - Rol 1	27.03.2017	11:24:00
A2.18	Actor 2 - Rol 1	28.03.2017	16:12:00

Activity	Resource	Date	Time
A2.1	Actor 2 - Rol 1	15.03.2017	09:36:00
A2.2	Actor 2 - Rol 1	15.03.2017	11:07:00
A2.3	Actor 2 - Rol 1	15.03.2017	16:36:00
A2.4	Actor 1 - Rol 1	16.03.2017	18:20:00
A2.5	Actor 4 - Rol 3	17.03.2017	17:17:00
A2.7	Actor 7 - Rol 5	20.03.2017	16:30:00
A2.9	Actor 4 - Rol 3	20.03.2017	16:57:00
A2.8	Actor 1 - Rol 1	21.03.2017	09:20:00
A2.9	Actor 4 - Rol 3	21.03.2017	09:32:00
A2.10	Actor 5 - Rol 4	21.03.2017	17:23:00
A2.11	Actor 1 - Rol 1	22.03.2017	11:08:00
A2.12	Actor 4 - Rol 3	22.03.2017	17:24:00
A2.14	Actor 1 - Rol 1	23.03.2017	16:24:00
A2.15	Actor 4 - Rol 3	24.03.2017	10:18:00
A2.16	Actor 1 - Rol 1	27.03.2017	08:28:00
A2.17	Actor 1 - Rol 1	27.03.2017	11:20:00
A2.18	Actor 1 - Rol 1	28.03.2017	16:04:00

Figura 5.9 Variante 3 PP_SG2 Proyecto4 (Izquierda) Variante 4 PP_SG2 Proyecto3 (Derecha).

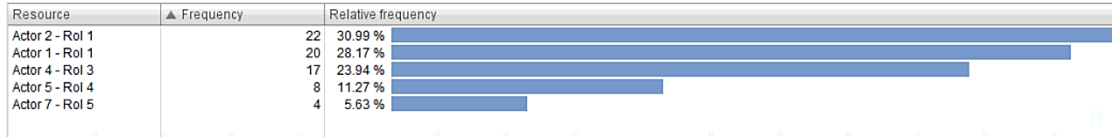


Figura 5.10 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG1.

La tercera variante explica la sucesión de la ejecución de las actividades del proyecto 4 con una duración de 13 días y 7 horas; para esta parte se decidió hacer la omisión de un par de las actividades (A2.9 y A2.13), obteniendo 16 actividades para observar el comportamiento al dibujar el diagrama. Finalmente, la variante 4 representa al proyecto 3 con una duración de 13 días y 6 horas, con 17 eventos registrados, como se puede apreciar en la figura. En cuanto a los recursos, se puede observar en la tabla de frecuencias que existe un exceso de trabajo en el Actor 2, a diferencia del Actor 1, los cuales deberían de realizar la misma cantidad de actividades, pero esto se debe a que se repiten dos actividades, como se mencionó anteriormente.

5.1.3 Project Planning - Specific Goal 3

El tercer análisis corresponde a PP_SG3 (Registro de eventos del anexo 3) es sobre las actividades ejecutadas correctamente y con la totalidad realizadas; por ello es que existe una sola variante de caso para los 4 proyectos. El proceso es lineal, como se aprecia en el diagrama de PP_SG3 con fuzzy miner (Fuzzy_Miner_pp_sg3.pdf en archivo de figuras), donde el único cambio que sucede son los tiempos de ejecución y los actores involucrados en cada proyecto. La variante única para los 4 proyectos tiene una duración aproximada de 1 día y 6 horas, donde las 7 actividades se realizan la misma cantidad de veces y con tiempos similares. En la tabla de recursos, se observan en las frecuencias que existe una mayor carga de trabajo al actor 4, en relación con el resto de los actores.

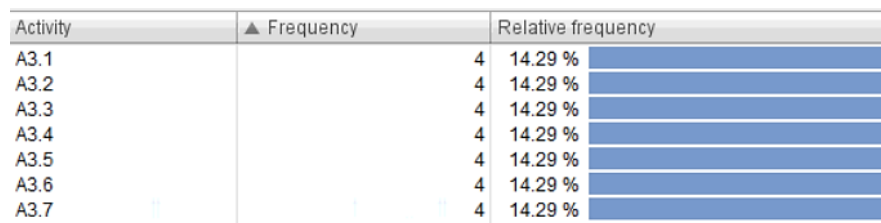


Figura 5.11 Relación de Frecuencia de Actividades PP_SG3.

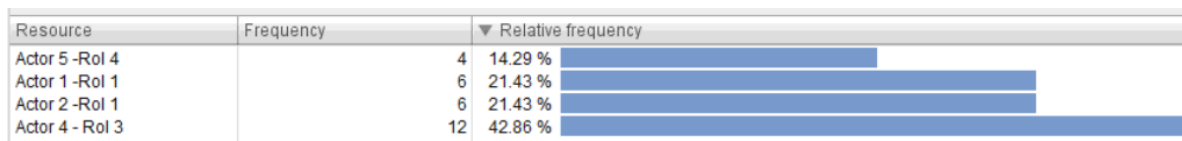


Figura 5.12 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG3.

5.1.4 Project Monitoring and Control - Specific Goal 1

El análisis correspondiente a PMC_SG1 (Registro de eventos del anexo 4) es sobre las actividades ejecutadas correctamente y con la totalidad realizadas; la Figura 5.13 muestra que se identificaron 2 variantes de caso para los 4 proyectos, los cuatro casos se ejecutaron en su totalidad, las 8 actividades tienen una duración de 49 horas. El diagrama de PMC_SG1 con fuzzy miner (Fuzzy_Miner_PMC_SG1.pdf en archivo de figuras); comparando este con la Figura 0.6 Diagrama de BPMN del proceso, nos presenta un diagrama con tareas paralelas, pero la ejecución del proceso es el registro, arroja un proceso lineal, con dos variantes del proceso (Figura 5.14).

Case ID	Events	Variant	Started	Finished	Duration
1	8	Variant 1	08.05.2017 09:12:00	09.05.2017 12:25:00	1 day, 3 hours
2	8	Variant 2	08.05.2017 09:32:00	10.05.2017 09:07:00	1 day, 23 hours
3	8	Variant 1	09.05.2017 17:57:00	12.05.2017 12:01:00	2 days, 18 hours
4	8	Variant 1	10.05.2017 10:23:00	12.05.2017 17:20:00	2 days, 6 hours

Figura 5.13 PMC_SG1 vista general del análisis con Disco.

	Activity	Resource	Date	Time
1	A1.1	Actor 1 - Rol 1	08.05.2017	09:12:00
2	A1.2	Actor 1 - Rol 1	08.05.2017	11:17:00
3	A1.3	Actor 1 - Rol 1	08.05.2017	12:56:00
4	A1.4	Actor 4 - Rol 3	08.05.2017	16:03:00
5	A1.5	Actor 1 - Rol 1	08.05.2017	17:03:00
6	A1.6	Actor 1 - Rol 1	09.05.2017	09:03:00
7	A1.7	Actor 1 - Rol 1	09.05.2017	11:15:00
8	A1.8	Actor 1 - Rol 1	09.05.2017	12:25:00

	Activity	Resource	Date	Time
1	A1.1	Actor 2 - Rol 1	08.05.2017	09:32:00
2	A1.2	Actor 2 - Rol 1	08.05.2017	11:36:00
3	A1.3	Actor 2 - Rol 1	08.05.2017	17:39:00
4	A1.5	Actor 2 - Rol 1	08.05.2017	18:13:00
5	A1.4	Actor 4 - Rol 3	09.05.2017	15:03:00
6	A1.6	Actor 2 - Rol 1	09.05.2017	16:43:00
7	A1.7	Actor 2 - Rol 1	09.05.2017	18:13:00
8	A1.8	Actor 2 - Rol 1	10.05.2017	09:07:00

Figura 5.14 Variante 1 PMC_SG1 Proyecto1 y 3 (Izquierda) Variante 2 PMC_SG1 Proyecto2 y 4 (Derecha).

Resource	▲ Frequency	Relative frequency
Actor 1 - Rol 1	14	43.75 %
Actor 2 - Rol 1	14	43.75 %
Actor 4 - Rol 3	4	12.5 %

Figura 5.15 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG3.

En el diagrama obtenido con Fuzzy Miner, se aprecia que A1.5 fue realizada hasta que el rol R3 cumplió con la tarea A1.4, a diferencia de la Figura 4.6, donde las actividades A1.5 y A1.3, suceden de forma paralela, dado que ambas dependen de A1.2. La relación de las actividades están distribuidas de forma equitativa, al ser la frecuencia igual, indica que los 4 proyectos realizaron la misma cantidad de actividades. También la distribución que muestra a Figura 5.15 de los roles es equitativa.

5.1.5 Project Monitoring and Control - Specific Goal 2

El análisis exploratorio de PMC_SG2 realizado a un registro de 28 eventos (Anexo 5), encontró una sola variante de caso con los cuatro proyectos involucrados. Se cumplieron con el

total de las actividades, con variante de tiempos para evidenciar el nivel de experticia de cada equipo de trabajo (Figura 5.16). Al existir sólo una variante del proceso denota que solo se ejecuta de una sola forma el proceso y es lineal, tal y como aparece en el diagrama de PMC_SG2 con fuzzy miner (Fuzzy_Miner_pmc_sg2.pdf en archivo de figuras). Mientras que la relación de frecuencias de cada Actor, determina que eran actividades distribuidas en forma equitativa (Figura 5.17).

Case ID	Events	Variant	Started	Finished	Duration
1	7	Variant 1	15.05.2017 09:12:00	18.05.2017 10:35:00	3 days, 1 hour
2	7	Variant 1	15.05.2017 15:15:00	18.05.2017 16:32:00	3 days, 1 hour
4	7	Variant 1	22.05.2017 09:22:00	25.05.2017 17:38:00	3 days, 8 hours
3	7	Variant 1	22.05.2017 15:05:00	25.05.2017 11:45:00	2 days, 20 hours

Figura 5.16 PMC_SG2 vista general del análisis con Disco.

Resource	▲ Frequency	Relative frequency
Actor 1 - Rol 1	12	42.86 %
Actor 2 - Rol 1	12	42.86 %
Actor 4 - Rol 3	4	14.29 %

Figura 5.17 Relación de Frecuencia de Roles PP_SG3.

5.2 Descubrimiento de información y Análisis Organizacional

Después de hacer el diagnóstico inicial explicado anteriormente, se utilizó la exportación de datos que tiene Disco. Esta función permite exportar el registro de eventos en cuatro distintos formatos, entre ellos el formato MXML (ProM 5.2) y XES (ProM 6 y superiores). Este último es el formato de exportación implementado. La herramienta ProM (Figura 5.18) entre las funciones que realiza está el Descubrimiento del Proceso y el Análisis Organizacional. Las funciones de Descubrimiento, utilizan tres algoritmos: el Heuristic Miner, el Genetic Miner y el Fuzzy Miner; mientras que el Análisis Organizacional usa métricas como: Handover of work, Doing similar task, Working together y Subcontracting.

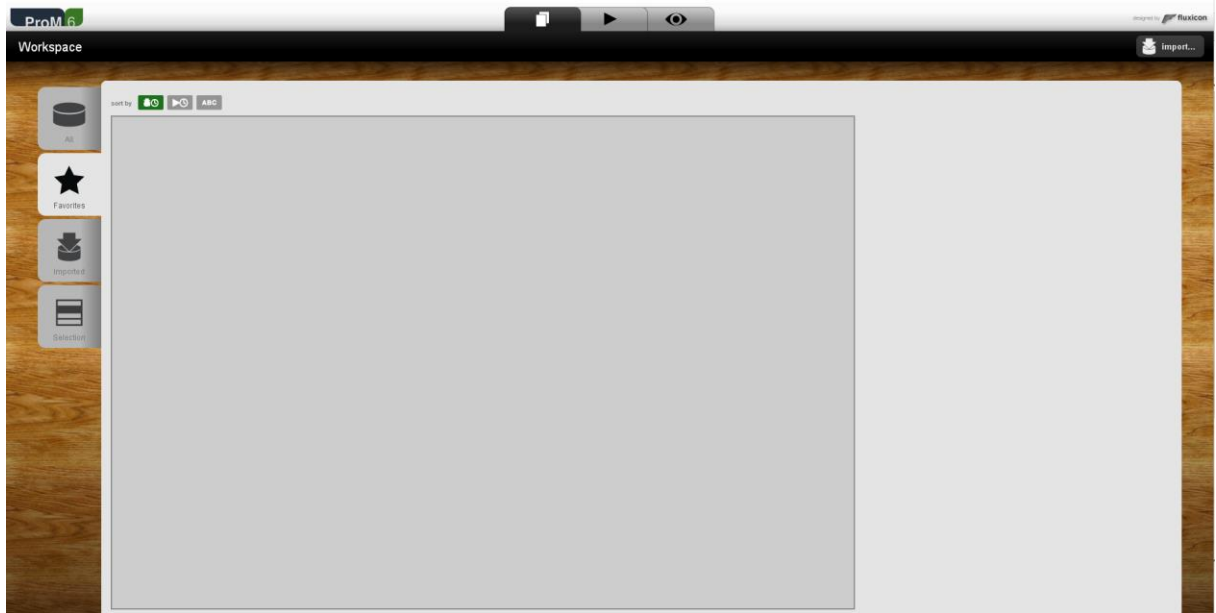


Figura 5.18 Vista de la pantalla principal de la herramienta ProM.

5.2.1 Heuristic Miner

El descubrimiento a través del algoritmo Heuristic Miner, tiene un conjunto de parámetros a establecer en ProM, para fines de este experimento, se utilizan los parámetros por defecto configurados en la herramienta para el algoritmo. Al ejecutar el algoritmo, este procesa el registro de eventos y muestra el modelo de proceso descubierto.

Es notable que el diagrama de PP_SG1 con heuristic miner (Heuristic_Miner_pp_sg1.pdf en archivo de figuras), contiene diferencias con respecto a los dos anteriores, el obtenido con Disco y el que se desarrolló al inicio (Figura 0.3). El de la herramienta Disco presenta que las actividades A1.1 y A1.2 son subsecuentes, pero el diagrama con Heuristic Miner, marca ruta diferente, donde desde A1.1 se desarrollan las actividades A1.2 y A1.6. Los resultados de este algoritmo, son más apropiados para descubrir qué clase de secuencia siguen las actividades, esto quiere decir que la información que brinda en ocasiones es menor a la que obtenemos por medio de otro tipo de algoritmos.

Por otro lado, en el diagrama obtenido para PP_SG2 con Heuristic Miner, se detectó que la secuencia del diagrama (Heuristic_Miner_pmc_sg2.pdf en archivo de figuras), sigue la misma secuencia presentada en la Figura 2 del archivo de figuras únicamente hasta la actividad A2.4, posterior a este punto cada algoritmo le dio una interpretación y priorizó las actividades de distinta forma. Comparándolo con el diagrama en BPMN de la Figura 0.4 ha sido el algoritmo

de Fuzzy Miner el que ha dado una interpretación más acertada sobre el registro de eventos, al respetar el orden en la decisión de A2.5 y mostrar las actividades que se ejecutaron en menor cantidad de forma visual. Posteriormente, en PP_SG3 (Heuristic_Miner_pmc_sg3.pdf en archivo de figuras) los tres resultados han sido iguales, puesto que es un proceso lineal.

El diagrama de PMC_SG1 con Heuristic miner (Heuristic_Miner_pmc_sg1.pdf en archivo de figuras) es un resultado más apegado al diagrama del proceso documentado de la Figura 0.6. Como se analizó en el diagrama para PMC_SG1 con el algoritmo Fuzzy Miner, es un proceso lineal de resultado; sin embargo, el proceso real tiene actividades simultáneas. El diagrama de PMC_SG1 con Heuristic miner presenta un diagrama con las actividades A1.4 y A1.5 de forma paralela y aclara que deben estar completas ambas para pasar a la actividad A1.6, justo como esta expresado en el diagrama del proceso real de la figura 23. En cambio el diagrama obtenido por PMC_SG2 (Figura 43) fue consistente en todos los algoritmos, incluso en Heuristic Miner. Todos los resultados fueron diagramas lineales para este proceso.

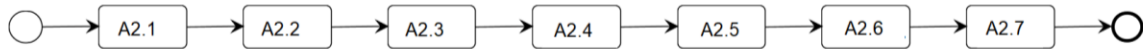


Figura 5.19 Diagrama con Heuristic Miner PMC_SG2.

5.2.2 Fuzzy Miner

El algoritmo Fuzzy Miner tiene como principal objetivo el relacionar la agrupación de las actividades y la generación de múltiples modelos de acuerdo con estas agrupaciones, como se mencionó en la sección 3.8.3. Anteriormente, en la sección 5.1 se hizo un análisis exploratorio con la herramienta Disco, la cual utiliza el algoritmo Fuzzy Miner. Por otro lado, la herramienta ProM también cuenta con este algoritmo, por lo que se procedió a complementar el descubrimiento de información con la aplicación del algoritmo con el objetivo de comparar los resultados que se tenían con ambas herramientas.

En el caso de los diagramas para PP_SG1 generados con el algoritmo de Fuzzy Miner con ambas herramientas muestra resultados similares, el diagrama con Fuzzy Miner en ProM (Fuzzy_Miner_pp_sg1_ProM.pdf en archivo de figuras) expresa que solo las actividades A1.6 y A1.3 suceden de forma simultánea y al terminar prosiguen con A1.4, por otro lado en el obtenido con Disco la secuencia sucede de A1.3 a A1.6 y posterior pasa a A1.4, con esto se entiende que Disco nos proporciona un mayor detalle con los diferentes casos detectados.

En PP_SG2 la herramienta ProM (Fuzzy_Miner_pp_sg2_ProM.pdf en archivo de figuras), proporcionó una vista más exacta en relación a las actividades en el proceso. Principalmente, no solo trazo la ruta, si no también incido las actividades que se han repetido a causa de las decisiones (A2.4 y A2.5). Posteriormente ha dibujado un proceso distinto del que se obtuvo con Disco, cambiando el orden de la ejecución de A2.7, cual es una versión más aproximada a diagrama BPMN inicial de PP_SG2. Por otro lado, en PP_SG3 (Fuzzy_Miner_pp_sg3_ProM.pdf en el archivo de figuras), el resultado siguió manteniendo una misma consistencia en el diagrama con ProM.

En los resultados de PMC_SG1 y PMC_SG2 con la herramienta ProM (Fuzzy_Miner_pmc_sg1_ProM.pdf / Fuzzy_Miner_pmc_sg2_ProM.pdf en el archivo de figuras) por ser modelados como un procesos de naturaleza lineal al momento de realizar los diagramas iniciales en BPMN, no existen cambios relevantes en los diagramas. En casos como estos, es sencillo detectar la omisión de alguna actividad, por ser fáciles de analizar a simple vista.

5.2.3 Perspectivas Organizacionales

La perspectiva organizacional de Minería de Procesos se enfoca en analizar la información correspondiente a los recursos presentes en la ejecución del proceso, ya sean sistemas, personas, unidades organizacionales o roles (Arias y Rojas, 2016). Su principal objetivo es determinar la forma cómo interactúan entre ellos. Se utilizó las métrica Handover of work para analizar los registros de eventos. Con esta métrica se obtuvo la relación sobre quién delega trabajo a quién, así como la cantidad de trabajo. En la Figura 5.20 se muestran las relaciones obtenidas de cada uno de los procesos.

Es posible identificar que roles interactúan directamente y cuáles son los que tienen una menor participación dentro del proceso. En los grafos de la Figura 5.20 se aprecia como la mayoría de las tareas están repartidas de forma equitativa con cada actor, también se puede observar como las flechas van dirigidas a algunos de los roles en particular. Tal es el caso del grafo de PP_SG2, donde el Rol 5 (Identificado como el cliente) tiene poca comunicación con el resto, esto podría ser una señal de alarma para los objetivos de proyecto que se está desarrollando. También, se puede entender que las tareas en PMC tienen interacción equitativa, al contrario de PP, donde se identifica como existen Roles (a nivel Actor) a los cuales se les delega menor cantidad de trabajo; esto se determina con el tamaño de los vértices y la dirección de las aristas.

En la medida de que los roles del equipo de trabajo comprendan y ejecuten los procesos, se sientan parte de las soluciones a las problemáticas identificadas, exterioricen y documenten sus

experiencias, lecciones aprendidas y mejores prácticas, replanteen, optimicen y exterioricen resultados, el dominio de conocimiento del equipo se aproximará a menores tiempos de ejecución o mayor madurez en las actividades a desempeñar y la experticia de los actores (Velazquez-Solis et al., 2016). A partir de un nivel 3 de madurez o superior el conjunto de procesos se establece y mejora a lo largo del tiempo generando que la organización establezca objetivos cuantitativos para la calidad y gestión de sus proyectos.

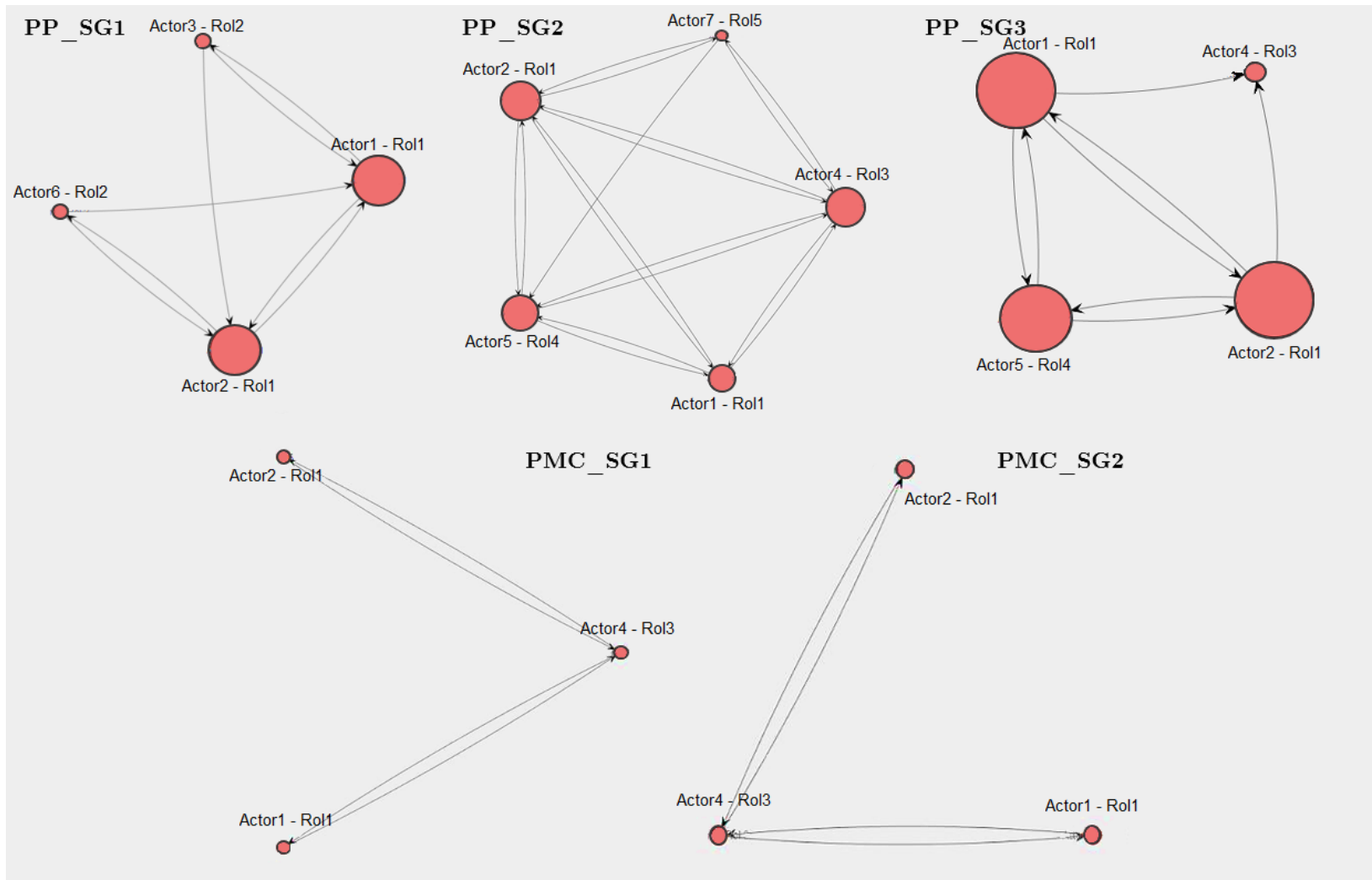


Figura 5.20 Grafos dirigidos obtenidos con la métrica Handover of work.

5.3 Conclusiones del capítulo

En este capítulo, se presentaron los cuatro pasos principales para que una organización que desee incorporar el uso de la PM, pueda administrar sus procesos y generar oportunidades de mejora. La explicación de estos pasos se realizó a través de la simulación de un conjunto de escenarios, con el objetivo de mostrar la aplicación práctica del modelo de referencia CMMI-DEV v1.3 en complemento con la PM. De esta forma, se valida que a partir de un registro de eventos sintéticos, fue posible establecer el descubrimiento del proceso y el análisis desde la perspectiva organizacional.

Capítulo 6. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este capítulo, se exponen las conclusiones y aportaciones obtenidas dentro del proyecto de investigación, las actividades recomendadas para trabajo futuro en la línea de investigación, y por último, se abordan los productos académicos de la investigación.

6.1 Conclusiones

El desarrollo de este trabajo ha resultado en la propuesta de un esquema de aplicación de Minería de Procesos en proyectos de software desarrollados con el modelo de referencia CMMI-DEV v1.3. Brindando una base sobre la cual las organizaciones desarrolladoras de software encuentren una solución a los problemas que enfrentan asociados a la complejidad en el manejo de gran cantidad de información (Velazquez-Solis et. al, 2016); mostrándoles un camino para aprovechar la información contenida en las bases de conocimiento, bases de datos y registros de eventos.

El desarrollo de la propuesta toma como base la realización de una revisión sistemática de la literatura, con el objetivo de conocer el estado actual sobre la relación de la Minería de Procesos con Modelos de Referencia, en particular con CMMI-DEV v1.3. Los resultados se llevaron a un Mapeo Sistemático, concluyendo en:

- Los estudios muestran una inclinación hacia realizar integración de la Minería de Procesos en Sistemas de Información y Sistemas de Monitoreo y Control de Procesos.
- Los estudios encontrados con enfoque en el Modelo de Referencia CMMI se centran en la implementación y evaluación con el método SCAMPI, en la búsqueda de analizar los resultados de las evaluaciones y no en la intervención previa en las prácticas específicas o genéricas.
- En la revisión se encontró un estudio que realizó una relación entre la Minería de Procesos y la evaluación de dos áreas de procesos de CMMI para un nivel 3 de madurez: Enfoque en Procesos de la Organización (OPF) y Análisis de Decisiones y Resolución (DAR). Encontrando únicamente enfoques relacionados con la categoría de Gestión de Procesos.

A partir de la comparativa de los trabajos relacionados se identifica la carencia de trabajo relacionado cuya propuesta cubra la categoría de Gestión de Proyectos, tal y como lo presenta el presente trabajo.

Con respecto a los objetivos específicos:

- Se obtuvo el estado del arte respecto al trabajo relacionado existente sobre Minería de Procesos con el modelo de referencia CMMI-DEV.
- Se identificaron y analizaron las áreas de procesos PP y PMC dentro de la categoría de Gestión de Proyectos del modelo CMMI-DEV v1.3 con un nivel 2 de madurez.
- Se desarrollaron diagramas modelando un proceso por cada meta específica de las áreas de procesos seleccionadas.
- Se generaron 5 registros de eventos modelando de forma individual cada meta específica de las áreas de procesos; para estructurar la composición de un registro de eventos real o ficticio.
- Se implementaron los algoritmos de Fuzzy Miner y Heuristic Miner de las herramientas ProM y Disco, para realizar análisis exploratorio y Descubrimiento de Información.
- Se validó la viabilidad de la propuesta para la trazabilidad de las áreas de procesos a los registros de eventos de forma empírica, realizando el modelado de PP y posteriormente de PMC.

Finalmente, se presenta como los resultados de un análisis de un programa SPI apoyado de la PM puede impactar en estrategias de mejora de procesos de software, basándose en el cumplimiento de la SG de la categoría de Gestión de Proyectos para un nivel 2 de madurez. De esta forma, una organización de desarrollo de software podría contar con la interpretación inicial de los registros de eventos, representando medidas concretas de la ejecución de las actividades de los procesos, los cuales pueden ser comparados con el flujo del escenario ideal contra el flujo alterno real.

6.2 Trabajo Futuro

Para dar seguimiento a la línea de investigación abordada en este trabajo, se plantean las siguientes actividades:

- Extender el método a más áreas de procesos, para no tener sólo prácticas de la categoría de Gestión de Proyectos.

- Agregar modelos o estándares para que los miembros de las organizaciones logren modelar sus propios procesos e identificar los elementos clave para la explotación de los registros de eventos.
- Realizar un análisis entre las relaciones de las áreas de procesos de CMMI-DEV v1.3 para mejorar la selección y modelado de las practicas.
- Validar con un caso de estudio la metodología propuesta en la sección 5.1, como perspectiva convencional de la validación de este estudio empírico.
- Realizar una trazabilidad en la aplicación de Minería de Procesos con otros modelos de referencia, tales como MoProSoft, Competisoft y normas como la ISO 29110.

6.3 Logros Académicos

A continuación, se muestran los logros académicos obtenidos a partir de la presente investigación.

6.3.1 Productos Académicos

Se obtuvieron tres productos académicos en colaboración con investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y la Universidad del Cauca (UNICAUCA), los cuales se listan a continuación:

Velazquez-Solis, P. E., Flores-Rios, B. L., Astorga-Vargas, M. A., Pino, F. J. Ibarra-Esquer, J. E., González-Navarro, F. F. (2016). *Evidencia Empírica de la Minería de Procesos en la Implantación de CMMI-DEV*. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica (ReCIBE). Vol. 5 Num. 3, Nov. 2016. México. ISBN: 978-607-607-327-8.

Velazquez-Solis, P. E., Flores-Rios, B. L., Astorga-Vargas, M. A., Ibarra-Esquer, J. E., Gonzalez-Navarro, F. F., and Hernández-Castro, C. (2016). *Process Mining in Software Process Improvement, a Systematic Literature Review*. IEEE 11th Colombian Computing Conference (11CCC). Popayán, Colombia. ISBN 978-1-5090-2965-5.

Velazquez-Solis, P. E., Flores-Rios, B. L., Burtseva, L., Astorga-Vargas, M. A., y Pino, F. J. (2016). *Implementación del Método Húngaro para la Asignación de Recursos en un proyecto CMMI-DEV*. 8vo Congreso Internacional en Ciencias Computacionales (CiComp). Avances recientes en Ciencias Computacionales. México. Pp. 330 – 333. ISBN 978-15-4030-3967.

6.3.2 Ponencia en Congreso Internacional

Ponente en el 11vo Congreso Colombiano de Computación (11CCC), presentando los resultados obtenidos de la revisión de la literatura para obtener el estado de arte. Clasificando las principales contribuciones en propuestas, metodologías y herramientas emergentes con características que lograran la aplicación de Minería de Procesos en Mejora de Proyectos de Software.

6.3.3 Movilidad Estudiantil

Se realizó una movilidad estudiantil del 24 de Julio al 4 de Octubre 2016 en el Departamento de Sistemas y el Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software (Grupo IDIS) de la Universidad del Cauca ubicado en la ciudad de Popayán, Colombia. En donde se trabajó en conjunto con el Dr. Francisco José Pino Correa en el tema de Minería de Procesos con CMMI-DEV para el descubrimiento y explotación del conocimiento.

Referencias

- Aguirre-Mayorga, H. S. y Rincón-Nicolás, N. (2015). Minería de procesos: Desarrollo, aplicaciones y factores críticos. *Cuadernos de Arministracion*, 28(50), pp. 22.
- Ahumada Tello, E. y Perusquia Velasco, J. M. (2016). Inteligencia de negocios: estrategia para el desarrollo de competitividad en empresas de base tecnológica. *Contaduría y administración*, 127-158.
- Akman, B. (2009). Applicability of Process Discovery Algorithms for Software Organizations. *Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications*.
- Alfonso-Galipienso, M. I., Cazorla-Quevedo, M. A., Colomina-Pardo, O., Escolano-Ruiz, F., y Lozano-Ortega, M. A. (2003). Introduccion a la Inteligencia Artificial. En F. E. otros, *Inteligencia Artificial, Modelos, Técnicas y Áreas de Aplicación* (págs. 3-5). España.
- Arias, M. y Rojas, E. (2016). Guía para Gestionar Procesos de Negocio a través de Minería de Procesos. *InterSedes*.
- Astorga-Vargas, A., Morales-Bustamante, J., Flores-Rios, B. y Ibarra-Esquer, J. (2014). Determining software process capability in conformity to the process assessment model NMX-I-15504 applied to the reference model NMX-I-059 supported by the AURAP tool. *9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. Barcelona, Spain: IEEE.
- Calvo-Manzano, J., García, I. y Arcilla, M. (2008). Calvo-Manzano, J., García, I., y Arcilla, M. (2008). Hacia la gestión cuantitativa en la gestión de proyectos en el ámbito de las pymes. *Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, 7-19.
- Carnegie Mellon University. (2010). *CMMI para Desarrollo, Versión 1.3*.
- Chrissis, M. B., Konrad, M., y Shrum, S. (2011). *CMMI for Development®: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. (3rd Edition ed.). Addison-Wesley Professional.
- Cios, K. J., Pedrycz, W., Swiniarski, R. W., y Kurgan, L. (2007). *Data mining: a knowledge discovery approach*. Springer Science y Business Media.
- Coleman, G., y O'Connor, R. (2008). Investigating software process in practice: a grounded theory perspective. *Journal of Systems and Software*, 772-784.
- Cruañas, J. R. (2010). *Process Mining Opportunities for CMMI Assessments*. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.: Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Davenport, T., y Prusak, L. (2001). *Conocimiento en acción. Cómo las organizaciones manejan lo que saben*. Buenos Aires: Prentice Hall.
- Durón del Villar, B. L. y Muñoz-Mata, M. A. (2013). Selección de estrategias para la implementación de mejoras de procesos de Software. *ReCIBE*, 15.
- Flores Ríos, B. L., Rodríguez-Elías, O. M., y Pino, F. J. (2011). Research on CMM based Knowledge Management Maturity Models. *4to. Congreso Internacional en Ciencias Computacionales, CICOMP 2011*, (págs. pp. 145-152). Ensenada, México.
- Flores Rios, B., Astorga Vargas, M., Rodríguez Elias, O., Ibarra Esquer, J., y Andrade, M. (2014). Interpreting the mexican standards for software process implementation and capacity assessment under a knowledge management approach. *Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia.*, 85-10.

- Fondos PROSOFT. (Enero de 2016). *Convocatoria AMITI Fondos PROSOFT 2016*. Obtenido de <http://amiti.org.mx/4441/convocatoria-amiti-fondos-prosoft-2016>
- Gallego, C., y Ongallo. (2004). *Conocimiento y gestión*. Madrid: Pearson Education.
- Galvis-Lista, E., y González-Zabala, M. (2014). Herramientas para la gestión de procesos de negocio y su relación con el ciclo de vida de los procesos de negocio: Una revisión de literatura. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 37 - 55.
- Gómez, A. A., y Bautista, D. W. (2010). Inteligencia de negocios: Estado del arte. *Scientia et technica*, 321-326.
- González-Meneses, Y. N., León-Padilla, N. Y., Hernández-Mora, J. J., y Medina-Barrera, M. G. (s.f.). Análisis del estado actual de certificaciones CMMI DEV ver. 1.3 año 2013 y 2014, a nivel Mundial y en Mexico. *Instituto Tecnológico de Apizaco*.
- Gupta, E. (2014). Process Mining A Comparative Study. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5.
- Gutierrez-Gasca, E., Gutierrez-Tornés, A., Pérez-Rojas, A., y Marquez-López, L. (2008). Acerca de la Implementación de los Modelos de Calidad en la Construcción de Software en México. *Revista Digital Universitaria*.
- Hřıfovská, K., y Koncz, P. (2012). Application of Artificial Intelligence and Data Mining Techniques to Financial Markets.
- ITBAJA. (Mayo de 2017). *Investigacion + Desarrollo + Innovación + Transferencia de Tecnología*. Obtenido de <https://itbaja.org/nosotros/>
- Kitchenham, B. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Technical Report. *Software Engineering Group, Department of Computer Science, University of Durham*.
- Larrondo-Petrie, M. M., Medina-García, V. H., y Méndez-Giraldo, G. (2009). Modelo de Registro y Acreditación de Instituciones de Educación. *Energy and Technology for the Americas: Education, Innovation, Technology and Practice*.
- Lester, N. G., Wilkie, F. G., McFall, D., y Ware, M. P. (2010). Investigating the role of CMMI with expanding company size for small-to medium-sized enterprises. *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, 17-31.
- Martínez, G. (2001). Minería de datos. Cómo hallar una aguja en un pajar. 67.
- Martínez, Y., Castro, C. C., y Beigbeder, S. M. (2011). Evidencia empírica sobre mejoras en productividad y calidad en enfoques MDD: un mapeo sistemático. *REICIS: Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, 6-27.
- Molina-Vargas, J., Torres-Pinzón, C., y Restrepo-Patiño, C. (2008). Técnicas de inteligencia artificial para la solución de laberintos de estructura desconocida. *Universidad Tecnológica de Pereira*.
- Nakatumba, J. (2010). Analyzing Resource Behavior Using Process Mining. *BPM 2009 Workshops, Proceedings of the Fifth Workshop on Business Process Intelligence*, 43, 69-80.
- Niazi, M. (2015). A comparative study of software process improvement implementation success factors. *Journal of Software: Evolution and Process*, 700-722.
- Niazi, M., Wilson, D., y Zowghi, D. (2005). A maturity model for the implementation of software process improvement: An empirical study. *Journal of Systems and Software*, 74(2), 155-172.

- Nonaka, I., y Takeuchi, H. (1999). The knowledge creating company: How japanese companies create the dynamics of innovation. En I. Nonaka, y H. Takeuchi, *The knowledge creating company: How japanese companies create the dynamics of innovation*. (pág. 59). New York: Oxford University.
- NYCE. (2010). NMX-I-15504/03-NYCE-2010. En G. p. Tecnología de la Información –Evaluación de los Procesos –Parte 03. México.
- Oktaba, H., y Piattini, M. (2008). Software Process Improvement for Small and Medium Enterprises: Oktaba H. y Piattini M. (2008). Software Process Improvement for Small and Medium Enterprises:. *IGI Global research collection*.
- Orellana García, A., Larrea Armenteros, O., y Pérez Alfonso, D. (2015). Generador de Registros de Eventos para el análisis de procesos en el Sistema de Información Hospitalaria xavia HIS. *Convención Salud 2015*, (págs. 1-5).
- Orellana-García, A., Pérez-Alfonso, D., y Estrada-Sentí, V. (2016). Revisión de los principales modelos para aplicar técnicas de Minería de Procesos (Review of models for applying process mining techniques). *GECONTEC: Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología*, 10.
- Pardo, C., Hurtado, J., y Collazos, C. (2009). Mejora de Procesos Agil con Agil SPI Process. 13.
- Peralta, M., Riesco, D. E., Salgado, C. H., Montejano, G. A., y García, F. (2008). Un conjunto de medidas para la evaluación de modelos workflow. *XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*.
- Pérez Alfonso, D., Yzquierdo Herrera, R., Silverio Castro, R., y Lazo Cortes, M. (2012). Utilización de minería de proceso en el entorno empresarial cubano.
- Pérez-López, y Santín-González. (2007). Data Mining, Soluciones con Enterprise Miner. Mexico, D.F.: Alfaomega.
- Pérez-López, C., y Santín-González, D. (2007). Técnicas de Minería de Datos. En *Minería de Datos, Técnicas y Herramientas* (págs. 10-13). Madrid.
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., y Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering. *In 12th international conference on evaluation and assessment in software engineering*.
- Piatetsky-Shapiro, G., y et. al. (2007). *Data mining: A knowledge discovery approach*. Springer.
- Pino, F., García, F., y Piattini, M. (2006). Revisión sistemática de mejora de procesos de software en micro, pequeñas y medianas empresas. *REICIS*, 2(001), 6-23.
- Pino-Diez, R., Gómez-Gómez, A., y de Abajo-Martínez, N. (2009). *Introducción a la Inteligencia Artificial: Sistemas expertos, Redes Neuronales Artificiales y Computación Evolutiva*.
- Pizarro Álvarez, G. E. (2013). Enfoque OLAP para el descubrimiento interactivo en minería de procesos. *Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile*.
- Poncin, W., Serebrenik, A., y Van Den Brand, M. (2011). Process mining software repositories. *Software Maintenance and Reengineering (CSMR)* (págs. 5–14). IEEE.
- Presedo, C., Dolado, J. J., y Aguirregoitia, A. (2010). Estudio de métricas para el control de proyectos software. *Actas de los Talleres de las Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos* (págs. pp. 65-79). Valencia, España: SISTEDES.
- Puldon, J. J., y Llanes, R. S. (2005). Técnicas del algoritmo α y Minería Genética para la obtención de modelos de procesos a partir de trazas de ejecución de procesos. *7mo congreso de Iberoamericano de Ingeniería*. Ciudad de Mexico.

- Robin Bergenthum, J. D. (2007). Process Mining Based on Regions of Languages. En *Business Process Management* (págs. 375-383). Springer Berlin Heidelberg.
- Rossana, S. Z., Blanc, R., Pralong, L., Álvarez, C., y Galáz, S. (s.f.). El desafío de producir software de calidad aplicando prácticas de CMMI para las pymes de Concepción del Uruguay. *Universidad Autónoma de Entre Ríos, Facultad de Ciencia y Tecnología*.
- Rozinat, A. (29 de Agosto de 2017). *Disco User's Guide - Fluxicon*. Obtenido de Disco - Fluxicon: <https://fluxicon.com/disco/files/Disco-User-Guide.pdf>
- Rubin, V. (2011). Process Mining Framework for Software Processes. En *Software Process Dynamics and Agility* (págs. 169-181).
- Samalikova, J., Kusters, R. J., Trienekens, J. J., y Weijters, A. J. (2014). Process mining support for CMMI-based software process assessment, in principle and in practice. *University of Technology Eindhoven, The Netherlands*.
- Sánchez, M., y Falcones, C. M. (2012). SPI Manifiesto: una visión integradora de tres años de publicaciones.
- Sánchez-Lorenzo, G. A. (2008). Mejora Del Proceso Software De Una Pequeña Empresa Desarrolladora De Software: Caso Competisoft-Perú Tau. Peru.
- Team, C. P. (2010). *Cmmi for development (cmmi-dev). Version 1.3, Technical Report*. Software Engineering Institute. doi:CMU/SEI-2010-TR-033
- Valencia, L. S., y Villa, P. A. (2009). Model of software quality. *Scientia et Technica Año XV, No 42*.
- Valle, A., Loures, E. R., y Portela, E. (2014). Process Mining Extension to SCAMPI. *SIMPDA*, 179-183.
- Valle, A., Portela, E., Rocha, E., y Deschamps, F. (2014). Structure and Content of a Framework to apply Process Mining techniques in SCAMPI Assessments. *American Society for Engineering Management*.
- Van der Aalst, W. (2009). Process-Aware Information Systems: Lessons to Be Learned from Process Mining. En *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II* (págs. 1-26). Springer Berlin Heidelberg.
- Van Der Aalst, W. A., y Burattin, A. (2011). Process mining manifiesto. *International Conference on Business Process Management* (págs. pp. 169-194). Berlin, Heidelberg.: Springer.
- Van der Aalst, W. M. (2010). Beyond Process Mining: From the Past to Present and Future. En *Advanced Information Systems Engineering* (págs. 38 - 52). Berlin Heidelberg: Springer .
- Van der Aalst, W. M. (2011). Process Mining. En *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes* (págs. 7-11). Springer.
- Van der Aalst, W. M. (2011). *Process Mining: Discovery, conformance and enhancement of business process*. Springer.
- van der Aalst, W. M. (2012). Process Mining Manifiesto. En *Business Process Management Workshops* (págs. 169 - 194). Springer Berlin Heidelberg.
- Van der Aalst, W. M., y Van Dongen, B. F. (2013). Discovering Petri Nets from Event Logs. *Springer, ToPNoC VII*, pp. 372-422.
- van der Aalst, W. M., Rubin, V., y Verbeek, H. M. (2010). Process mining: a two-step approach to balance between underfitting and overfitting. *Software y Systems Modeling*, pp. 87 - 111.

- Van der Aalst, W. M., Van Dongen, B. F., Günther, C. W., Rozinat, A., Verbeek, E., y Weijters, T. (2009). ProM: The Process Mining Toolkit. *BPM*.
- Van der Aalst, W. M., Weijters, T., y Maruster, L. (2004). Workflow mining: Discovering process models from event logs. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 1128-1142.
- Van der Aalst, W., Adriansyah, A., Alves de Medeiros, A. K., y et. al. (2012). Process Mining Manifesto. *IEEE*, 15.
- Van Dongen, B. F., de Medeiros, A., Verbeek, H. M., Weijters, A. J., y van der Aalst, W. M. (2005). The ProM Framework: A New Era in Process Mining Tool Support. *APN*.
- Vasconcellos, F., Landre, G., Cunha, J. A., Oliveira, J., Ferreira, A., y Vincenzi, M. (2017). Approaches to strategic alignment of software process improvement: A systematic literature review. *The Journal of Systems and Software*, 45-63.
- Velazquez-Solis, P. E., Flores-Rios, B. L., Astorga-Vargas, M. A., Ibarra-Esquer, J. E., Gonzalez-Navarro, F. F., y Hernández-Castro, C. (Septiembre de 2016). Process Mining in Software Process Improvement, a Systematic Literature Review. *IEEE 11th Colombian Computing Conference (11CCC)*.
- Velazquez-Solis, P. E., Flores-Rios, B. L., Astorga-Vargas, M. A., Pino, F. J., Ibarra-Esquer, J. E., y González-Navarro, F. F. (2016). Evidencia Empírica de la Minería de Procesos en la Implantación de CMMI-DEV. *Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica (ReCIBE)*, Vol. 5(Num. 3).
- Velazquez-Solis, P. E., Flores-Rios, B. L., Burtseva, L., Astorga-Vargas, M. A., y Pino, F. J. (2016). Implementación del Método Húngaro para la Asignación de Recursos en un proyecto CMMI-DEV. *8vo Congreso Internacional en Ciencias Computacionales (CiComp)*, (págs. 330-333). Ensenada, México.
- Verdonk, M., van Werf, J., van der Aalst, W. M., y van Hee, K. M. (2010). Auditing 2.0: Using Process Mining to Support Tomorrow's Auditor. *Computer*, pp. 90-93.
- Wang, J., Wong, R. K., Ding, J., Guo, Q., y Wen, L. (2013). Efficient Selection of Process Mining Algorithms. *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 6 No. 4, 13.
- Weijters. (2003). Rediscovering Workflow Models from Event-Based Data using Little Thumb. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 10(2), pp. 151-162.
- Witenberg, J. P. (2000). *Métodos y modelos de investigación de operaciones* (Vol. 1). Editorial Limusa.

Anexos

Anexo 1. Registro de eventos sintético para el área de procesos Planeación de Proyectos para la meta específica 1

Actividad realizada (Caso)	Tarea específica	Empleado (Rol)	Inicio del evento
2	A1.1	Actor 2 - Rol 1	27/02/2017 08:22
1	A1.1	Actor 1 - Rol 1	27/02/2017 09:12
1	A1.2	Actor 1 - Rol 1	27/02/2017 12:03
2	A1.2	Actor 2 - Rol 1	27/02/2017 11:04
1	A1.6	Actor 3 - Rol 2	27/02/2017 11:14
2	A1.3	Actor 2 - Rol 1	27/02/2017 12:30
1	A1.3	Actor 1 - Rol 1	27/02/2017 12:57
2	A1.6	Actor 6 - Rol 2	27/02/2017 15:10
2	A1.4	Actor 2 - Rol 1	27/02/2017 15:25
1	A1.4	Actor 1 - Rol 1	27/02/2017 16:05
2	A1.5	Actor 2 - Rol 1	27/02/2017 17:17
1	A1.5	Actor 1 - Rol 1	28/02/2017 08:12
2	A1.7	Actor 6 - Rol 2	28/02/2017 09:26
1	A1.7	Actor 3 - Rol 2	28/02/2017 10:03
2	A1.8	Actor 6 - Rol 2	28/02/2017 12:18
1	A1.8	Actor 3 - Rol 2	28/02/2017 15:17
1	A1.9	Actor 1 - Rol 1	01/03/2017 08:06
2	A1.9	Actor 2 - Rol 1	01/03/2017 09:19
2	A1.10	Actor 2 - Rol 1	01/03/2017 10:13
1	A1.10	Actor 1 - Rol 1	01/03/2017 10:29
2	A1.11	Actor 2 - Rol 1	01/03/2017 12:48
2	A1.12	Actor 2 - Rol 1	01/03/2017 04:05
1	A1.11	Actor 1 - Rol 1	01/03/2017 04:23
1	A1.12	Actor 1 - Rol 1	01/03/2017 05:07
1	A1.13	Actor 1 - Rol 1	02/03/2017 08:12
2	A1.13	Actor 2 - Rol 1	02/03/2017 09:06
4	A1.1	Actor 2 - Rol 1	02/03/2017 11:16
3	A1.1	Actor 1 - Rol 1	02/03/2017 11:20
3	A1.2	Actor 1 - Rol 1	02/03/2017 16:26
4	A1.2	Actor 2 - Rol 1	02/03/2017 16:30
3	A1.6	Actor 3 - Rol 2	03/03/2017 08:05
4	A1.3	Actor 2 - Rol 1	03/03/2017 09:02
4	A1.6	Actor 6 - Rol 2	03/03/2017 09:19
3	A1.3	Actor 1 - Rol 1	03/03/2017 09:31

4	A1.4	Actor 2 - Rol 1	03/03/2017 11:36
3	A1.4	Actor 1 - Rol 1	03/03/2017 11:42
4	A1.5	Actor 2 - Rol 1	03/03/2017 15:55
3	A1.5	Actor 1 - Rol 1	03/03/2017 16:03
4	A1.7	Actor 6 - Rol 2	06/03/2017 08:10
3	A1.7	Actor 3 - Rol 2	06/03/2017 08:12
4	A1.8	Actor 6 - Rol 2	06/03/2017 11:49
3	A1.8	Actor 3 - Rol 2	06/03/2017 12:07
4	A1.9	Actor 1 - Rol 1	06/03/2017 16:03
3	A1.9	Actor 2 - Rol 1	06/03/2017 16:20
4	A1.10	Actor 2 - Rol 1	07/03/2017 09:30
3	A1.10	Actor 1 - Rol 1	07/03/2017 09:42
4	A1.11	Actor 2 - Rol 1	07/03/2017 11:15
4	A1.12	Actor 2 - Rol 1	07/03/2017 12:47
3	A1.11	Actor 1 - Rol 1	07/03/2017 16:13
3	A1.12	Actor 1 - Rol 1	07/03/2017 17:49
4	A1.13	Actor 1 - Rol 1	08/03/2017 10:18
3	A1.13	Actor 2 - Rol 1	08/03/2017 10:46

Anexo 2. Registro de eventos sintético para el área de procesos Planeación de Proyectos para la meta específica 2.

Actividad realizada (Caso)	Tarea específica	Empleado (Rol)	Inicio del evento
1	A2.1	Actor 1 - Rol 1	13/03/2017 09:12
2	A2.1	Actor 2 - Rol 1	13/03/2017 09:36
1	A2.2	Actor 1 - Rol 1	13/03/2017 12:14
2	A2.2	Actor 2 - Rol 1	13/03/2017 12:24
1	A2.3	Actor 1 - Rol 1	14/03/2017 09:07
2	A2.3	Actor 2 - Rol 1	14/03/2017 09:14
2	A2.4	Actor 2 - Rol 1	14/03/2017 11:06
1	A2.4	Actor 1 - Rol 1	14/03/2017 11:27
2	A2.5	Actor 4 - Rol 3	14/03/2017 16:35
4	A2.1	Actor 1 - Rol 1	15/03/2017 09:12
3	A2.1	Actor 2 - Rol 1	15/03/2017 09:36
1	A2.5	Actor 4 - Rol 3	15/03/2017 10:17
2	A2.6	Actor 2 - Rol 1	15/03/2017 10:58
3	A2.2	Actor 2 - Rol 1	15/03/2017 11:07
4	A2.2	Actor 1 - Rol 1	15/03/2017 11:20
4	A2.3	Actor 1 - Rol 1	15/03/2017 16:21
3	A2.3	Actor 2 - Rol 1	15/03/2017 16:36
1	A2.7	Actor 7 - Rol 5	16/03/2017 10:08
2	A2.4	Actor 2 - Rol 1	16/03/2017 16:13
4	A2.4	Actor 2 - Rol 1	16/03/2017 18:17
3	A2.4	Actor 1 - Rol 1	16/03/2017 18:20
1	A2.10	Actor 5 - Rol 4	16/03/2017 18:26
2	A2.7	Actor 7 - Rol 5	17/03/2017 10:08
2	A2.5	Actor 4 - Rol 3	17/03/2017 10:13
1	A2.13	Actor 5 - Rol 4	17/03/2017 15:12
3	A2.5	Actor 4 - Rol 3	17/03/2017 17:17
1	A2.8	Actor 1 - Rol 1	17/03/2017 18:21
4	A2.5	Actor 4 - Rol 3	20/03/2017 09:32
2	A2.8	Actor 2 - Rol 1	20/03/2017 09:36
1	A2.11	Actor 1 - Rol 1	20/03/2017 10:41
3	A2.7	Actor 7 - Rol 5	20/03/2017 16:30
3	A2.9	Actor 4 - Rol 3	20/03/2017 16:57
4	A2.7	Actor 7 - Rol 5	21/03/2017 09:00
3	A2.8	Actor 1 - Rol 1	21/03/2017 09:20
2	A2.11	Actor 2 - Rol 1	21/03/2017 09:28

3	A2.9	Actor 4 - Rol 3	21/03/2017 09:32
2	A2.9	Actor 4 - Rol 3	21/03/2017 12:49
1	A2.9	Actor 4 - Rol 3	21/03/2017 16:09
4	A2.8	Actor 2 - Rol 1	21/03/2017 17:16
3	A2.10	Actor 5 - Rol 4	21/03/2017 17:23
2	A2.12	Actor 4 - Rol 3	21/03/2017 18:24
4	A2.11	Actor 2 - Rol 1	22/03/2017 09:38
2	A2.10	Actor 5 - Rol 4	22/03/2017 10:47
1	A2.12	Actor 4 - Rol 3	22/03/2017 10:54
3	A2.11	Actor 1 - Rol 1	22/03/2017 11:08
4	A2.12	Actor 4 - Rol 3	22/03/2017 12:49
4	A2.10	Actor 5 - Rol 4	22/03/2017 16:09
1	A2.14	Actor 1 - Rol 1	22/03/2017 17:13
3	A2.12	Actor 4 - Rol 3	22/03/2017 17:24
1	A2.13	Actor 5 - Rol 4	22/03/2017 17:35
2	A2.14	Actor 2 - Rol 1	22/03/2017 18:03
1	A2.15	Actor 4 - Rol 3	23/03/2017 11:28
2	A2.13	Actor 5 - Rol 4	23/03/2017 12:15
3	A2.14	Actor 1 - Rol 1	23/03/2017 16:24
2	A2.15	Actor 4 - Rol 3	23/03/2017 16:28
4	A2.13	Actor 5 - Rol 4	23/03/2017 18:15
3	A2.15	Actor 4 - Rol 3	24/03/2017 10:18
4	A2.14	Actor 2 - Rol 1	24/03/2017 11:04
4	A2.15	Actor 4 - Rol 3	24/03/2017 12:18
1	A2.16	Actor 1 - Rol 1	24/03/2017 17:20
2	A2.16	Actor 2 - Rol 1	27/03/2017 08:20
3	A2.16	Actor 1 - Rol 1	27/03/2017 08:28
4	A2.16	Actor 2 - Rol 1	27/03/2017 10:31
3	A2.17	Actor 1 - Rol 1	27/03/2017 11:20
4	A2.17	Actor 2 - Rol 1	27/03/2017 11:24
1	A2.17	Actor 1 - Rol 1	27/03/2017 16:28
2	A2.17	Actor 2 - Rol 1	27/03/2017 17:31
1	A2.18	Actor 1 - Rol 1	28/03/2017 11:20
2	A2.18	Actor 2 - Rol 1	28/03/2017 12:23
3	A2.18	Actor 1 - Rol 1	28/03/2017 16:04
4	A2.18	Actor 2 - Rol 1	28/03/2017 16:12

Anexo 3. Registro de eventos sintético para el área de procesos Planeación de Proyectos para la meta específica 3

Proyecto (Caso)	Actividad	Empleado (Rol)	Inicio del evento
1	A3.1	Actor 1 -Rol 1	04/04/2017 11:17
2	A3.1	Actor 2 -Rol 1	04/04/2017 11:30
1	A3.2	Actor 5 -Rol 4	04/04/2017 11:52
2	A3.2	Actor 5 -Rol 4	04/04/2017 12:31
1	A3.3	Actor 1 -Rol 1	04/04/2017 16:41
2	A3.3	Actor 2 -Rol 1	04/04/2017 17:23
2	A3.4	Actor 1 -Rol 1	05/04/2017 09:06
1	A3.4	Actor 2 -Rol 1	05/04/2017 09:15
2	A3.5	Actor 4 - Rol 3	05/04/2017 11:19
1	A3.5	Actor 4 - Rol 3	05/04/2017 12:05
2	A3.6	Actor 4 - Rol 3	05/04/2017 15:34
1	A3.6	Actor 4 - Rol 3	05/04/2017 16:10
1	A3.7	Actor 4 - Rol 3	05/04/2017 17:40
2	A3.7	Actor 4 - Rol 3	06/04/2017 09:06
3	A3.1	Actor 1 -Rol 1	06/04/2017 11:02
4	A3.1	Actor 2 -Rol 1	06/04/2017 11:09
3	A3.2	Actor 5 -Rol 4	06/04/2017 11:39
4	A3.2	Actor 5 -Rol 4	06/04/2017 12:12
3	A3.3	Actor 1 -Rol 1	06/04/2017 16:32
4	A3.3	Actor 2 -Rol 1	06/04/2017 16:41
4	A3.4	Actor 1 -Rol 1	07/04/2017 09:16
3	A3.4	Actor 2 -Rol 1	07/04/2017 09:21
4	A3.5	Actor 4 - Rol 3	07/04/2017 11:23
3	A3.5	Actor 4 - Rol 3	07/04/2017 12:11
4	A3.6	Actor 4 - Rol 3	07/04/2017 16:24
3	A3.6	Actor 4 - Rol 3	07/04/2017 16:36
4	A3.7	Actor 4 - Rol 3	10/04/2017 09:03
3	A3.7	Actor 4 - Rol 3	10/04/2017 09:13

Anexo 4. Registro de eventos sintético para el área de procesos Monitoreo y Control del Proyecto para la meta específica 1

Proyecto (Caso)	Actividad	Empleado (Rol)	Inicio del evento
1	A1.1	Actor 1 - Rol 1	08/05/2017 09:12
2	A1.1	Actor 2 - Rol 1	08/05/2017 09:32
1	A1.2	Actor 1 - Rol 1	08/05/2017 11:17
2	A1.2	Actor 2 - Rol 1	08/05/2017 11:36
1	A1.3	Actor 1 - Rol 1	08/05/2017 12:56
1	A1.4	Actor 4 - Rol 3	08/05/2017 16:03
1	A1.5	Actor 1 - Rol 1	08/05/2017 17:03
2	A1.3	Actor 2 - Rol 1	08/05/2017 17:39
2	A1.5	Actor 2 - Rol 1	08/05/2017 18:13
1	A1.6	Actor 1 - Rol 1	09/05/2017 09:03
1	A1.7	Actor 1 - Rol 1	09/05/2017 11:15
1	A1.8	Actor 1 - Rol 1	09/05/2017 12:25
2	A1.4	Actor 4 - Rol 3	09/05/2017 15:03
2	A1.6	Actor 2 - Rol 1	09/05/2017 16:43
3	A1.1	Actor 1 - Rol 1	09/05/2017 17:57
2	A1.7	Actor 2 - Rol 1	09/05/2017 18:13
2	A1.8	Actor 2 - Rol 1	10/05/2017 09:07
3	A1.2	Actor 1 - Rol 1	10/05/2017 10:09
4	A1.1	Actor 2 - Rol 1	10/05/2017 10:23
4	A1.2	Actor 2 - Rol 1	10/05/2017 11:31
3	A1.3	Actor 1 - Rol 1	10/05/2017 12:48
3	A1.4	Actor 4 - Rol 3	10/05/2017 15:12
3	A1.5	Actor 1 - Rol 1	10/05/2017 16:29
4	A1.3	Actor 2 - Rol 1	10/05/2017 17:49
4	A1.4	Actor 4 - Rol 3	11/05/2017 15:05
4	A1.5	Actor 2 - Rol 1	11/05/2017 16:33
3	A1.6	Actor 1 - Rol 1	11/05/2017 18:03
3	A1.7	Actor 1 - Rol 1	12/05/2017 11:05
3	A1.8	Actor 1 - Rol 1	12/05/2017 12:01
4	A1.6	Actor 2 - Rol 1	12/05/2017 13:43
4	A1.7	Actor 2 - Rol 1	12/05/2017 16:48
4	A1.8	Actor 2 - Rol 1	12/05/2017 17:20

Anexo 4. Registro de eventos sintético para el área de procesos Monitoreo y Control del Proyecto para la meta específica 2

Proyecto (Caso)	Actividad	Empleado (Rol)	Inicio del evento
1	A2.1	Actor 1 - Rol 1	15/05/2017 09:12
1	A2.2	Actor 1 - Rol 1	15/05/2017 10:32
1	A2.3	Actor 1 - Rol 1	15/05/2017 12:44
2	A2.1	Actor 2 - Rol 1	15/05/2017 15:15
1	A2.4	Actor 4 - Rol 3	15/05/2017 17:02
2	A2.2	Actor 2 - Rol 1	15/05/2017 18:02
2	A2.3	Actor 2 - Rol 1	16/05/2017 10:25
2	A2.4	Actor 4 - Rol 3	16/05/2017 15:19
2	A2.5	Actor 2 - Rol 1	17/05/2017 11:13
2	A2.6	Actor 2 - Rol 1	17/05/2017 16:36
1	A2.5	Actor 1 - Rol 1	17/05/2017 18:57
1	A2.6	Actor 1 - Rol 1	18/05/2017 08:45
1	A2.7	Actor 1 - Rol 1	18/05/2017 10:35
2	A2.7	Actor 2 - Rol 1	18/05/2017 16:32
4	A2.1	Actor 1 - Rol 1	22/05/2017 09:22
4	A2.2	Actor 1 - Rol 1	22/05/2017 11:38
4	A2.3	Actor 1 - Rol 1	22/05/2017 12:41
3	A2.1	Actor 2 - Rol 1	22/05/2017 15:05
4	A2.4	Actor 4 - Rol 3	22/05/2017 17:32
3	A2.2	Actor 2 - Rol 1	22/05/2017 18:09
3	A2.3	Actor 2 - Rol 1	23/05/2017 10:15
3	A2.4	Actor 4 - Rol 3	23/05/2017 15:27
4	A2.5	Actor 2 - Rol 1	24/05/2017 11:13
4	A2.6	Actor 2 - Rol 1	24/05/2017 16:16
3	A2.5	Actor 1 - Rol 1	24/05/2017 18:51
3	A2.6	Actor 1 - Rol 1	25/05/2017 10:41
3	A2.7	Actor 1 - Rol 1	25/05/2017 11:45
4	A2.7	Actor 2 - Rol 1	25/05/2017 17:38