

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Método de integración inteligente de procesos de negocio sensible y adaptado al contexto

Jorge Eliécer Giraldo Plaza

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión
Medellín, Colombia
2018

Método de integración inteligente de procesos de negocio sensible y adaptado al contexto

Jorge Eliécer Giraldo Plaza

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar el título de:

Doctor en Ingeniería – Sistemas e Informática

Director

Demetrio Arturo Ovalle Carranza, PhD

Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión

Co-Dirección

Flavia María Santoro, PhD

Universidad Federal del Estado de Rio de Janeiro - Brasil

Línea de investigación: Inteligencia artificial y procesos de negocio

Grupo de investigación y desarrollo en inteligencia artificial - GIDIA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2018

Agradecimientos

A mis padres y familia, por todo el apoyo y amor incondicional.

A la Universidad Nacional de Colombia, por ser mi Alma Mater.

Al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, por el apoyo brindado.

Al profesor Demetrio A. Ovalle, por su paciencia, insistencia, persistencia y sobre todo por el conocimiento y experiencia compartida

A la profesora Flavia M. Santoro, por la oportunidad brindada y su valiosa orientación.

A todos aquellos que participaron y me animaron a seguir,

Gracias

Resumen

La Integración de procesos de negocio permite consolidar un conjunto de modelos de proceso en una sola descripción, con el fin de realizar actividades de mantenimiento y/o actualización sobre los ellos. Por lo anterior, es importante seleccionar aquellos procesos que soporten dichas actividades sin afectar su resultado y rendimiento. En esta tesis de doctorado se propone un método de integración de procesos de negocio, con capacidad de razonamiento sobre el contexto. El método propuesto consta de cuatro fases secuenciales e iterativas a saber, Fase 1. Definición del objetivo de integración, Fase 2. Búsqueda y recuperación de variantes, Fase 3. Integración y Fase 4. Propagación y ejecución. Adicionalmente, se propone un modelo de contexto que soporta el método, el cual está compuesto por entidades, situaciones y restricciones, al cual se integra una ontología de contexto de variantes, que identifica los recursos involucrados a partir de una situación contextual presente. El razonamiento inteligente se soporta por un sistema multi-agente que captura información del contexto, identifica situaciones, realiza agrupamiento de variantes y propagación de cambios; obteniendo como resultado la lista de variantes a integrar.

Finalmente, se construye un prototipo de validación, que facilita la simulación de escenarios y la ejecución de los procesos. La validación del método se realizó mediante la definición y aplicación del método a cuatro casos de estudio; así mismo, para el análisis de resultados, se utilizaron métricas de valoración cualitativa y cuantitativa. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, lo cual demuestra la utilidad, la validez y el alcance del método.

Palabras clave: Procesos de negocio, Integración de procesos de negocio, sistema sensible al contexto, método de integración, sistema inteligente.

Abstract

Business process integration allows to consolidate a set of process models in a single description, in order to carry out maintenance and updating activities. Therefore, it is important to select those processes that support these activities without affecting their results and performance. In this PhD thesis, a BPI method with the ability to reason on the context is proposed, This method is composed by four sequential and iterative steps. Step 1. Definition of the integration objective, Step 2. Search and recovery of variants, Step 3. Integration and Step 4. Propagation and execution. Additionally, a context model composed by entities, situations and constraints is proposed to supports the method. Likewise an ontology of variant context is integrated; it focus is to identify the resources involved from actived contextual situation. Intelligent reasoning is supported by a multi-agent system that captures information from the context, identifies situations, performs clustering of variants and change propagation; obtaining as a overcome the variants to integrate.

Finally, a validation prototype is constructed, which facilitates the simulation of scenarios and the execution of the processes. The validation of the method was carried out by defining and applying the method to four case studies; likewise, for the analysis of results, qualitative and quantitative valuation metrics were used. The results obtained were satisfactory, which shows the usefulness, validity and scope of the method.

Keywords: Business process, business process integration, context awareness system, integration method, intelligent system.

Glosario extendido

- **Proceso de negocio:** un proceso de negocio (BP – Business Process) se define como un conjunto de actividades que se ejecutan en un ambiente técnico y organizacional, las cuales están estructuradas de manera lógica para llevar a cabo un objetivo de negocio (e.g. proceso facturación). Los BP pueden ser definidos, analizados, implementados, monitoreados y mejorados, todo ello en pro de generar valor agregado a los servicios y/o productos que ofrece la organización (Weske, 2010) (*para más detalle ver sección 2.1*).
- **Modelo de proceso:** es la descripción formal de un proceso de negocio, en donde se incluye las actividades, actores y flujo de trabajo (Benedict et al., 2013). Por lo general se emplean notaciones como BPMN o XPDL para su implementación, así mismo, se emplean formalizaciones basadas en grafos de estados, redes de Petri y álgebra de procesos para su representación (*para más detalle ver sección 2.1*).
- **Integración de proceso de negocio:** la integración de procesos de negocio (BPI – Business Process Integration) se define como el procedimiento que permite la consolidación de un conjunto de modelos de proceso, con el fin de poder analizar y propagar cambios relacionados con su estructura y/o ambiente de ejecución (Morrison et al., 2009). Entre otras acciones a realizar por medio de la integración se tiene: mejoramiento de procesos, interoperabilidad (coreografía, orquestación) entre procesos y alineación de procesos (*para más detalle ver sección 2.2*).
- **Método de Integración de proceso de negocio:** un método para la BPI, consiste en un conjunto de fases que permite llevar a cabo la identificación, selección, comparación e integración de los modelos de procesos involucrados en una BPI. Según Morrison et al. (2009), el principal objetivo del método de integración es generar un modelo de proceso integrado que pueda reemplazar a sus antecesores y al mismo tiempo conserve sus medidas de rendimiento. (*para más detalle ver sección 4.1*).

- **Variante de proceso:** una variante es el resultado de la modificación estructural y/o de comportamiento de un modelo de proceso (Döhning et al., 2014). Las variantes pueden generarse al momento de la configuración inicial del proceso en un ambiente, o bien por peticiones inesperadas realizadas por cliente del proceso. Debido a la gran cantidad de variantes de proceso que pueden existir en las organizaciones, estas deben ser organizadas en colecciones de variantes. *(Para más detalle ver sección 4.1).*
- **Contexto:** en esta tesis se adopta la definición propuesta por (Dey, 2001) la cual define al contexto como: “cualquier información que puede ser usada para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar u objeto que se considera relevante en la interacción entre el usuario y la aplicación, incluyendo al usuario y a la aplicación misma”. Los principales elementos de un modelo de contexto son: entidades contextuales, atributos contextuales y situaciones contextuales. A modo de ejemplo, un sistema informático se asocia con diferentes contextos, tales como: contexto del usuario, contexto tecnológico, contexto del entorno, contexto social, entre otros (para más detalle ver sección 2.3).
- **Sistema sensible al contexto:** un sistema sensible al contexto es aquel que tiene la capacidad de comprender el ambiente en el cual es ejecutado, con el fin de adaptar sus operaciones para proveer la mejor experiencia al usuario (Lee et al., 2011). La capacidad de adaptación al contexto se caracteriza por su reacción y deliberación frente a situaciones que se presentan. Las funciones principales de un sistema sensible al contexto son: adquisición de información del contexto, por medio de sensores, almacenamiento de la información contextual, procesamiento y distribución. *(Para más detalle ver sección 2.3).*
- **Sistema adaptativo:** un sistema adaptativo se caracteriza por realizar acciones de forma autónoma para lograr un comportamiento coherente y ajustado a los elementos que componen su contexto de ejecución (Jaquero, 2005). Así mismo adapta dinámicamente su ejecución a los cambios que se producen en su entorno. Como ejemplo de un sistema adaptativo se puede citar las interfaces gráficas inteligentes las cuales pueden cambiar autónomamente los elementos de la pantalla y del contenido tales como colores, formas, cuadros de texto, mensajes emergentes, recursos digitales,

etc. de tal forma que se ajusten al perfil del usuario y su situación contextual (*para más detalle ver sección 2.3*).

- **Sistema adaptable:** un sistema adaptable permite la intervención del usuario de forma manual en la configuración de las acciones para lograr un comportamiento deseado que se ajuste al contexto. La adaptabilidad se caracteriza por modelar las preferencias del usuario y del entorno con el fin de personalizar y ajustar sus resultados, lo cual se hace por intermediación de quien modela el sistema (Jaquero, 2005). Se puede afirmar, en este caso, que la autonomía del sistema se restringe al estar a cargo del usuario las decisiones de adaptación. Un ejemplo de sistema adaptable puede ser un dispositivo móvil el cual permite que el usuario ajuste de forma manual y según sus preferencias el lenguaje, la resolución de la pantalla, los colores, la distribución de elementos e íconos, entre otros (*para más detalle ver sección 2.3*).
- **Técnicas de inteligencia artificial para la BPI:** la BPI es vista como un problema a ser solucionado por técnicas de la inteligencia artificial (IA), debido a que es un procedimiento complejo compuesto por actividades como: búsqueda, recuperación, alineación, comparación, integración, ejecución y creación de modelos de proceso (Zhang et al., 2018). Las técnicas comúnmente empleadas son: verificación de restricciones, agrupamiento no supervisado, razonamiento semántico a través de ontologías y agentes inteligentes. (*Para más detalle ver sección 2.5 y 2.6*).
- **Técnicas de similitud:** la similitud se define como el grado de proximidad generado a partir de la comparación entre dos modelos de procesos. La comparación se enfoca en aspectos de tipo estructural y de comportamiento de los modelos de procesos. Por tanto, una técnica de similitud es una herramienta para gestionar la comparación estructural y dinámica. La similitud estructural compara los elementos del proceso (actividades, actores, condicionales, eventos, flujo), mientras que la similitud comportamental permite la comparación de las ejecuciones y secuencialidad de los procesos desde un punto de vista semántico (Dijkman et al. 2011) (*para más detalle ver sección 4.1.1 p.61*).

Contenido

	Pag
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VII
GLOSARIO EXTENDIDO	IX
1. PRESENTACIÓN DE LA TESIS.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PROBLEMÁTICA	2
1.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.3.1 <i>Objetivos de la Tesis</i>	5
<i>Objetivo General</i>	5
<i>Objetivos específicos</i>	5
1.3.2 <i>Alcance de la Tesis</i>	5
1.3.3 <i>Metodología utilizada</i>	7
1.3.4 <i>Cumplimiento de los objetivos</i>	8
1.3.5 <i>Principales contribuciones de la tesis</i>	10
1.3.6 <i>Divulgación de resultados</i>	12
<i>Artículos en revistas</i>	12
<i>Capítulo de Libro</i>	13
<i>Eventos (Ponencias)</i>	13
<i>Citaciones</i>	13
<i>Proyecto de investigación</i>	14
<i>Pasantías en investigación realizadas</i>	14
1.4 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	14
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 PROCESO DE NEGOCIO	15
2.2 INTEGRACIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIO	17
2.3 COMPUTACIÓN SENSIBLE AL CONTEXTO	19
2.4 PROCESOS DE NEGOCIO SENSIBLES AL CONTEXTO	21
2.5 PROBLEMAS DE VERIFICACIÓN DE RESTRICCIONES.....	23
2.6 ALGORITMOS DE AGRUPAMIENTO DE DATOS	24

2.7 AGENTES INTELIGENTES.....	26
2.8 ARQUITECTURA ORIENTADA A SERVICIOS	30
2.9 ONTOLOGÍAS	32
2.10 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	34
3. REVISIÓN DE LITERATURA	35
3.1 PRIMER ENFOQUE: INTEGRACIÓN BASADA EN INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	36
3.1.1 <i>Trabajos relacionados</i>	36
3.1.2 <i>Análisis crítico del primer enfoque</i>	38
3.2 SEGUNDO ENFOQUE: INTEGRACIÓN BASADA EN CONVERSACIONES.....	39
3.2.1 <i>Trabajos relacionados</i>	39
3.2.2 <i>Análisis crítico del segundo enfoque.....</i>	43
3.3 TERCER ENFOQUE: INTEGRACIÓN BASADA EN CONSOLIDACIÓN.....	45
3.3.1 <i>Trabajos relacionados</i>	45
3.3.2 <i>Análisis crítico del tercer enfoque</i>	47
3.4 COMPARACIÓN DE TRABAJOS RELACIONADOS.....	49
3.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	52
4. MÉTODO PROPUESTO PARA LA INTEGRACIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIO.....	55
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO	55
4.2 MÉTODO DE INTEGRACIÓN.....	56
4.2.1 ELEMENTOS DEL MÉTODO.....	56
4.2.2 INTERACCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MÉTODO.....	68
4.2.3 <i>Fases del método.....</i>	68
4.2.4 <i>Dinámica propuesta para el método de integración.....</i>	72
4.2.5 <i>Niveles de Integración.....</i>	73
4.2.6 <i>Definición de situaciones contextuales en la integración.....</i>	75
4.2.7 <i>Propuesta de formalización del método de integración</i>	77
4.3 MODELO DE CONTEXTO PARA LA INTEGRACIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIO.....	79
4.3.1 <i>Metodología propuesta para el modelado del contexto</i>	79
4.3.2 <i>Diseño detallado de Situaciones contextuales en el modelo de contexto</i>	83
4.4 SISTEMA DE RAZONAMIENTO INTELIGENTE Y ADAPTACIÓN	85
4.4.1 <i>Representación del problema</i>	85
4.4.2 <i>Diseño del mecanismo de inferencia basado en reglas</i>	86
4.4.3 <i>Implementación del Sistema Inteligente de Adaptación a través de agentes contextuales</i>	89
4.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	94

5.	IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MÉTODO.....	97
5.1	IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA DEL MÉTODO	97
5.1.1	<i>Arquitectura definida</i>	97
5.1.2	<i>Aspectos tecnológicos para la implementación del método</i>	99
5.1.3	<i>Propuesta para la generación de bitácoras de ejecución</i>	101
5.1.4	<i>Desarrollo de herramienta de gestión del método</i>	103
5.2	EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE INTEGRACIÓN PROPUESTO.....	106
5.2.1	<i>Capacidades a evaluar.....</i>	107
5.2.2	<i>Métricas de evaluación para la capacidad 1 - Gestión representación de procesos....</i>	107
5.2.3	<i>Métricas de evaluación para la capacidad 2 - Búsqueda y recuperación.....</i>	109
5.2.4	<i>Métricas de evaluación para la capacidad 3 - Integración y ejecución.....</i>	110
5.2.5	<i>Métricas de evaluación para la capacidad 4 - Razonamiento inteligente.....</i>	111
5.3	VALIDACIÓN DEL MÉTODO EN EL CASO DE ESTUDIO 1- PRODUCCIÓN DE CAFÉ	112
5.3.1	<i>Descripción del caso de estudio 1</i>	112
5.3.2	<i>Aplicación del método al caso de estudio 1</i>	113
5.3.3	<i>Evaluación basada en métricas para el caso de estudio 1</i>	118
5.3.4	<i>Discusión de resultados para el caso de estudio 1</i>	122
5.4	VALIDACIÓN DEL MÉTODO EN EL CASO DE ESTUDIO 2- DISEÑO DE CURRÍCULO.....	124
5.4.1	<i>Descripción del caso de estudio 2</i>	124
5.4.2	<i>Aplicación del método al caso de estudio 2</i>	125
5.4.3	<i>Evaluación basada en métricas para el caso de estudio 2</i>	129
5.4.4	<i>Discusión de resultados para el caso de estudio 2</i>	132
5.5	VALIDACIÓN DEL MÉTODO EN EL CASO DE ESTUDIO 3 - ADMISIÓN UNIVERSITARIA.....	133
5.5.1	<i>Descripción del caso de estudio 3</i>	133
5.5.2	<i>Aplicación del método al caso de estudio 3</i>	134
5.5.3	<i>Evaluación basada en métricas para el caso de estudio 3.....</i>	138
5.5.4	<i>Discusión de resultados para el caso de estudio 3.....</i>	141
5.6	VALIDACIÓN DEL MÉTODO EN EL CASO DE ESTUDIO 4 - ACREDITACIÓN ACADÉMICA ...	143
5.6.1	<i>Descripción del caso de estudio 4</i>	143
5.6.2	<i>Aplicación del método al caso de estudio 4</i>	144
5.6.3	<i>Evaluación basada en métricas para el caso de estudio 4.....</i>	147
5.6.4	<i>Discusión de resultados para el caso de estudio 4.....</i>	151
5.7	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	152
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	155
6.1	CONCLUSIONES DE LA TESIS.....	155
6.2	LECCIONES APRENDIDAS	157

6.3 TRABAJO FUTURO	158
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161

Lista de Figuras

	Pag
Figura 2-1 Mapa conceptual del marco teórico	15
Figura 2-2 Proceso de Negocio Venta de Producto	16
Figura 2-3: Integración de procesos de negocio	18
Figura 2-4: Método generalizado de procesamiento del contexto	20
Figura 2-5: Clasificación del contexto para un proceso.	22
Figura 2-6: Problema de verificación de restricciones.	24
Figura 2-7: Algoritmo K-means.	25
Figura 2-8: Agente inteligente y su entorno.....	26
Figura 2-9: Arquitectura BDI para Sistemas Multi-Agentes.	29
Figura 2-10: Fases de la metodología Prometheus.....	30
Figura 2-11: Arquitectura Orientada a servicios.	31
Figura 2-12: Categorización de ontologías.....	32
Figura 2-13: Ontologías y la BPI.	34
Figura 3-1: Integración de Procesos de Negocio basado en análisis de uso.....	37
Figura 3-2: Integración de Procesos de Negocio basada en conversaciones.....	40
Figura 3-3: Alineación de modelos de procesos a partir de registro de ejecuciones.....	42
Figura 3-4: Integración de Procesos de Negocio basada en dependencias semánticas. 43	43
Figura 3-5: Método de integración de procesos propuesto en (Malekan et al., 2018).....	47
Figura 4-1: Estructura conceptual propuesta para el modelo de proceso.....	57
Figura 4-2: Estructura conceptual propuesta en sintaxis XPDL.....	59
Figura 4-3: Propuesta de representación ontológica de una variante.....	61
Figura 4-4: Propuesta de representación conceptual del objetivo de integración	63
Figura 4-5: Procedimiento propuesto para la comparación de procesos	64
Figura 4-6: Técnicas de agrupamiento y su aplicación en la BPI	68
Figura 4-7: Fases del método propuesto y su interacción con los elementos restantes. .	69
Figura 4-8: Niveles de información para la BPI	74
Figura 4-9: Dimensiones para el modelo de contexto	80
Figura 4-10: Esquema general del sistema de razonamiento.....	86
Figura 4-11: Algoritmo general del sistema de razonamiento propuesto	89
Figura 4-12: Arquitectura propuesta.....	91

Figura 4-13: Interacciones entre agentes.....	92
Figura 4-14: Diagrama General de Metas. Artefacto metodología Prometheus.....	93
Figura 4-15: Diagrama General de Análisis del sistema. Artefacto de la metodología Prometheus.	94
Figura 5-1: Propuesta tecnológica para implementación de método de integración.....	99
Figura 5-2: Esquema propuesta para la generación de bitácoras	102
Figura 5-3: Diagrama de casos de uso de la herramienta.....	104
Figura 5-4: Interfaz de herramienta desarrollada para gestión del método.....	106
Figura 5-5: Diagrama de procesos de Producción de Café.....	113
Figura 5-6: Grafo Generado para el modelo de referencia.....	114
Figura 5-7: Grafo Generado para el objetivo de integración.....	114
Figura 5-8: Datos de variantes de proceso de referencia de Producción de café.....	117
Figura 5-9: Grafo Generado para el modelo de procedo integrado	118
Figura 5-10: Diagrama de procesos de diseño de currículo	124
Figura 5-11: Grafo Generado para el modelo de referencia	125
Figura 5-12: Grafo Generado para objetivo de integración.....	126
Figura 5-13: Grafo Generado para el modelo de procedo integrado	129
Figura 5-14: Diagrama de procesos de Admisión universitaria	134
Figura 5-15: Grafo Generado para el modelo de referencia	134
Figura 5-16: Grafo Generado para objetivo de integración.....	135
Figura 5-17: Grafo Generado para el modelo de procedo integrado	138
Figura 5-18: Diagrama de procesos de Acreditación académica	143
Figura 5-19: Grafo Generado para el modelo de referencia	144
Figura 5-20: Grafo Generado para objetivo de integración.....	145
Figura 5-21: Grafo Generado para el modelo de procedo integrado	147

Lista de Tablas

	Pag
Tabla 1-1: Problema de investigación en BPI	4
Tabla 3-1: Comparación de trabajos relacionados en los enfoques de BPI	52
Tabla 4-1: Axiomas para chequeo de consistencias.....	62
Tabla 4-2: Rango de valores para la similitud sintáctica	66
Tabla 4-3: Rango de valores para la similitud semántica.....	66
Tabla 4.4: Situaciones contextuales asociadas a cada fase del método	75
Tabla 4-5: Listado de entidades contextuales con sus atributos.....	82
Tabla 4-6: Situaciones definidas para las entidades contextuales.....	83
Tabla 4-7: Expresión lógica de las reglas de razonamiento definidas.....	87
Tabla 5-1: Listado de aspectos tecnológicos ligados a la implementación	100
Tabla 5-2: Información asociada a una bitácora de ejecución	103
Tabla 5-3: Cambios identificados para caso de estudio.....	115
Tabla 5.4: Variantes definidas para caso de estudio	115
Tabla 5-5: Orden de cada iteración	116
Tabla 5-6: Recomendaciones del sistema de propagación y ejecución.....	118
Tabla 5-7: Información asociada con evaluación cuantitativa	119
Tabla 5-8: Información asociada con la validación cualitativa.....	119
Tabla 5-9: Información asociada a la búsqueda y recuperación	119
Tabla 5-10: Información asociada valoración cuantitativa - Agrupamiento	120
Tabla 5-11: Información asociada con la valoración cualitativa	120
Tabla 5-12: Información asociada a la valoración cuantitativa	121
Tabla 5-13: Información asociada con la valoración cualitativa	121
Tabla 5-14: Información asociada a la valoración cuantitativa.....	121
Tabla 5-15: Información asociada a la valoración cualitativa	122
Tabla 5-16: Cambios identificados para caso de estudio.....	126
Tabla 5-17: Variantes definidas para caso de estudio	127
Tabla 5-18: Orden de cada iteración	128
Tabla 5-19: Recomendaciones del sistema de propagación y ejecución.....	129
Tabla 5-20: Información asociada con evaluación cuantitativa	130
Tabla 5-21: Información asociada con la validación cuantitativa	130
Tabla 5-22: Información asociada a la búsqueda y recuperación	130

Tabla 5-23: Información asociada agrupamiento.....	130
Tabla 5-24: Información asociada con la valoración cuantitativa	131
Tabla 5-25: Información asociada a la integración y ejecución.....	131
Tabla 5.26: Información asociada con la validación cuantitativa.....	131
Tabla 5-27: Información asociada al razonamiento	132
Tabla 5-28: Cambios identificados para caso de estudio.....	135
Tabla 5-29: Variantes definidas para caso de estudio	136
Tabla 5-30: Orden de cada iteración	137
Tabla 5-31: Recomendaciones del sistema de propagación y ejecución.....	138
Tabla 5-32: Información asociada con la evaluación cuantitativa	139
Tabla 5-33: Información asociada con la evaluación cualitativa	139
Tabla 5-34: evaluación cuantitativa – Búsqueda y recuperación	139
Tabla 5-35: evaluación cuantitativa - Agrupamiento	139
Tabla 5-36: Información asociada con la evaluación cualitativa	140
Tabla 5-37: evaluación cuantitativa.	140
Tabla 5.38: evaluación cualitativa.....	140
Tabla 5-39: Valoración cuantitativa	141
Tabla 5-40: Valoración cualitativa.....	141
Tabla 5.41: Cambios identificados para caso de estudio.....	145
Tabla 5-42: Variantes definidas para caso de estudio	146
Tabla 5-43: Orden de cada iteración	146
Tabla 5-44: Recomendaciones del sistema de propagación y ejecución.....	147
Tabla 5-45: Validación cuantitativa.....	148
Tabla 5-46: Información asociada con la validación cuantitativa	148
Tabla 5.47: Información asociada a la búsqueda y recuperación	148
Tabla 5-48: Información asociada agrupamiento.....	148
Tabla 5-49: Información asociada con la valoración cuantitativa	149
Tabla 5-50: Información asociada a la integración y ejecución.....	149
Tabla 5-51: Información asociada con la validación cuantitativa	149
Tabla 5-52: Información asociada al razonamiento	150
Tabla 5-53: Información asociada a la valoración cualitativa	150

1. Presentación de la tesis

Es este capítulo se describe de manera general el contenido de la tesis, teniendo en cuenta su problemática, la hipótesis de investigación, los objetivos planteados para su realización, la metodología de trabajo, los principales aportes y logros alcanzados. Por último, se presenta la divulgación de resultados, citas obtenidas, los proyectos de investigación involucrados y las pasantías de investigación realizadas.

1.1 Introducción

Un proceso de negocio se define como una ejecución de actividades orientada a llevar a cabo una función específica en una organización (Dumas et al., 2013) y su ejecución se considera una instancia dependiente del dominio, así como de sistemas externos (Benedict et al. 2013).

Debido a la dependencia de los procesos con su dominio, pueden generarse versiones del mismo proceso durante su implementación, por lo tanto, su estructura debe ajustarse apropiadamente al ambiente de ejecución; de esta manera se crea una nueva versión del proceso conocida como *variante del proceso* (La Rosa et al., 2017).

Las variantes de procesos dependen de un *proceso base*, el cual representa la estructura original, así como los valores por defecto; por lo tanto, cualquier cambio generado en el proceso base debe ser propagado hacia sus variantes.

Según Fdhila et al. (2015), las propagaciones de cambios se pueden representar mediante los algoritmos de propagación de restricciones, donde su elemento principal son los efectos de dichos cambios.

Con base en lo anterior, la Integración de Procesos de negocio (*BPI – por sus siglas en inglés*) es vista como un método de consolidación de variantes para la propagación de cambios desde un proceso base. Sin embargo, la formalización de un método de integración conlleva a plantear un enfoque sistemático para la gestión de la información relacionada.

La información relacionada con la BPI está enmarcada en los siguientes elementos: dominio de ejecución, estructuras de los procesos, comportamiento del proceso, recursos asociados y flujo de información; sin embargo, se debe considerar situaciones contextuales, que afectan el rendimiento de las variantes cuando se les propaguen cambios.

Sungur et al. (2016) exponen la importancia de la inclusión de información contextual en la ejecución de procesos de negocio, teniendo en cuenta la identificación de situaciones con el fin de evaluar las variables contextuales, sin embargo, el contexto debe modelarse teniendo en cuenta el diseño de nuevas variantes, generadas en un proceso de integración.

Se propone por lo tanto una aproximación soportada por los fundamentos de la computación ubicua y sensible al contexto (Krumm, 2016) para darle robustez y coherencia a la integración de procesos de negocio. De esta manera, la representación de estados factibles en la solución de la propagación de cambios apoya la toma de decisiones en la actualización y mantenimiento de variantes de proceso.

1.2 Problemática

A partir de la revisión de literatura realizada al área de investigación, se evidencia la necesidad de incluir información relacionada con el contexto al momento de integrar procesos de negocio. Los métodos propuestos para abordar la integración basan sus soluciones en enfoques arraigados a sus fundamentos de implementación.

Es así como, el enfoque conversacional se centra en el concepto de intercambio de información, mientras el enfoque estructural en el rendimiento e integración de aplicaciones; por último, el enfoque comparativo, que busca aprovechar la selección a partir de la similitud entre variantes.

Las aproximaciones basadas en integración de aplicaciones buscan conectar la gestión por procesos y la arquitectura orientada a servicios (Chudnovskyy et al., 2011). Considera el diseño de módulos funcionales del negocio independientes de la plataforma de ejecución, la implementación por medio de servicios, por último, se realiza una coordinación de servicios con base en la definición de flujos de trabajo.

Morrison et al. (2009) plantean cuáles son los elementos para tener en cuenta para abordar una integración de procesos desde un enfoque basado en la comparación. El primero de ellos es el grupo de procesos a integrar, para dar paso a la fusión de los procesos seleccionados, el mayor reto es conservar sus características generales y específicas; por

último, se simulan y analizan las bitácoras de ejecución para determinar la viabilidad de la integración.

Por último, existen enfoques conversacionales (Steinau et al., 2017), donde su concepto principal es la coordinación de mensajes entre los procesos, conocido como coreografía (Weske, 2010). Se caracterizan por una definición de objetivo, donde se declara el estado final y se define el plan de acciones a seguir. Luego viene una selección de los procesos a interactuar y se genera una descripción de la coordinación soportada por un protocolo de conversación.

Cada uno de los enfoques metódicos expuestos, generan como resultado una descripción de lo que se desea obtener después de la integración, ya sea un protocolo de comunicación o un nuevo proceso generado. Sin embargo, existen algunos elementos adicionales que deben ser considerados, como son: los escenarios donde se integran los procesos (Schubert & Legner, 2011) y las situaciones contextuales que se presenten sobre una o más variantes.

La Tabla 1.1, presenta el consolidado las limitaciones identificadas en el área de investigación. Para cada uno de los enfoques se mencionan los conceptos relacionados y en la última columna se consolidan los problemas de investigación en general. Las limitaciones resaltadas con (*) indican la problemática a abordar en esta tesis.

Con base en lo expuesto anteriormente, se hace necesario proponer un método sistémico que tenga en cuenta la información contextual relacionada, en donde se incluya información a partir de actividades como: definición de un objetivo de integración, una búsqueda y selección de procesos; una integración y regresión, así como una propagación de cambios y ejecución.

Tabla 1-1: Problema de investigación en BPI

Enfoque BPI	Conceptos relacionados	Limitaciones presentes
Integración de Aplicaciones	Aplicaciones Empresariales	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de métodos robustos para la BPI. (*) • Ausencia en diseño de arquitecturas de software. • Dificultad en razonamientos basado en conocimiento. (*)
	Arquitectura de software	
	Intercambio de información	
	Seguridad de la información	
	Computación modular	
Interacción/Conversacional	Protocolos de interacción	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de mecanismos de administración de variantes. • Solo analizan información del proceso y el dominio.
	Gestión del conocimiento	
	Sensibilidad a entorno	
	Representación semántica	
Comparación	Criterios de selección	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de Modelados del contexto de los datos. (*) • Poca claridad en procedimientos de validación semántica. • Carencia de procedimientos de selección y agrupamiento de variantes. (*)
	Procedimientos	
	Técnicas de comparación	
	Ejecución de procesos	

1.3 Hipótesis de investigación

Teniendo en cuenta que la BPI brinda información de sus elementos, su control de flujo, su entorno y escenarios de ejecución, es posible mediante técnicas de la Inteligencia Artificial (IA) y de la computación sensible al contexto, diseñar y construir un mecanismo de análisis del contexto de la BPI con el fin de generar procesos integrados más acordes al dominio de ejecución y en consecuencia definir un método para su automatización donde se tenga en cuenta información contextual.

1.3.1 Objetivos de la Tesis

Con base en el análisis de las limitaciones identificadas en la problemática y la hipótesis de investigación, se plantean el siguiente objetivo general y sus correspondientes objetivos específicos.

Objetivo General

Proponer un método sensible y adaptable al contexto haciendo uso de técnicas de Inteligencia Artificial que permita la generación de modelos de proceso de integración con un mínimo nivel de cambio.

Objetivos específicos

- Identificar los niveles de la integración de procesos de negocio, que permitan la definición de un método de integración con información dependiente del ambiente y del dominio.
- Definir las fases del método de integración de procesos de negocio mediante la identificación de los elementos con información situacional que permita la obtención de un modelo de contexto.
- Modelar un sistema de razonamiento basado en técnicas de la Inteligencia Artificial que soporte la similitud, el comportamiento y el análisis de la integración de procesos basado en un modelo de contexto.
- Desarrollar una arquitectura computacional que permita la validación del método de integración de procesos de negocio propuesto mediante el diseño de casos de estudio apropiados.

1.3.2 Alcance de la Tesis

A partir de los objetivos planteados para esta tesis, se define el alcance del método propuesto considerando:

- La descripción de los modelos de procesos se basa en un estándar de referencia (XPDL *XML Process Definition Language*, versión 2.0). A partir de ello se propone una extensión para representar los modelos de procesos para el método de integración.

6 Método de integración inteligente de procesos de negocio sensible y adaptado al contexto

- Se hace uso de ontologías para complementar la descripción de los procesos mediante una ontología de variantes de procesos. Así mismo, para cada uno de los dominios relacionados con los casos de estudio, se ha diseñado su correspondiente ontología de dominio.
- El tipo de procesos abordado son los *Procesos de Negocio*, es decir aquellos relacionados directamente con objetivos del negocio, dejando a un lado procesos tales como: procesos industriales y procesos de automatización y control.
- La representación del conocimiento, la definición de reglas de inferencia, así como los datos y axiomas, están formalizados mediante lógica de predicados, facilitando el diseño y la implementación de un sistema inteligente.
- La selección de la técnica de Inteligencia artificial no surge a partir de un estudio comparativo de las existentes, será determinada conceptualmente, de acuerdo con la descripción del problema, la pertinencia de realizar agrupación de los datos obtenidos.
- Los procesos de negocio descritos en los casos de estudio seleccionados para la validación serán diseñados a partir de la exploración de otros procesos. De esta manera se garantiza el diseño de un *modelo de proceso base*, que permita la generación de variantes.
- El enfoque arquitectónico seleccionado para la implementación de la solución tiene en cuenta una aproximación por capas; dejando a un lado una aproximación basada en eventos y el enfoque basado en componentes.
- En la implementación del mecanismo de inferencia, se emplea una aproximación basada en grafos de estado, con el fin de aplicar los algoritmos de propagación de restricciones y poder comparar las bitácoras (*logs*) de ejecución con la estructura de procesos.
- La estrategia de inferencia está basada en algoritmos de aprendizaje no supervisados, específicamente empleando algoritmos de agrupamiento de datos, con el fin de categorizar los procesos a integrar.

- Para la validación del modelo propuesto se emplea una aproximación orientada a servicios, complementada con un enfoque sensible al contexto, el cual se soporta con la arquitectura BDI que ofrece la tecnología de agentes contextuales.

Cabe señalar que los puntos que están fuera del alcance de la tesis se consideran como temas abiertos en investigación, lecciones aprendidas o trabajos futuros del área de investigación.

1.3.3 Metodología utilizada

De manera general la metodología de trabajo propuesta comprende las siguientes fases:

Fase 1: esta fase abarca los objetivos 1 y 2, busca principalmente definir las etapas del método de integración teniendo en cuenta aspectos del ambiente y del dominio de aplicación, se compone de las siguientes actividades:

- Definir niveles de integración y su información asociada.
- Identificación las consideraciones contextuales asociadas al contexto.
- Definición de ontología de contexto y de dominio para cada caso de estudio.
- Definición del método base de integración.
- Definición del modelo de contexto de para el método de integración.

Fase 2: esta fase abarca el objetivo 3 y define la técnica apropiada para el razonamiento sobre el método de integración teniendo en cuenta el contexto. Comprende las siguientes actividades:

- Definir base de conocimiento mediante una representación en lógica de predicados.
- Definir reglas de integración y adaptación.
- Diseñar el sistema de razonamiento inteligente empleando una técnica de Inteligencia artificial.
- Modelar sistema de razonamiento e inferencias mediante una formalización.

Fase 3: esta fase abarca el objetivo 4 y se encarga de una arquitectura informática que le permita al usuario aplicar el método de integración en casos específicos. Comprende las siguientes actividades:

- Definición de aspectos técnicos para el desarrollo.
- Levantamiento de requisitos funcionales.
- Definición de casos de estudio.
- Desarrollo de los módulos de software necesarios.
- Explicación de métricas de evaluación.
- Análisis de los resultados obtenidos.

Fase 4: se enfoca en la documentación de la tesis, que incluye la divulgación de resultados en revistas indexadas y eventos nacionales e internacionales. Las actividades propuestas son:

- Elaboración de reportes técnicos.
- Elaboración de ponencia para socialización de resultados.
- Socializar resultados con pares nacionales e internacionales.
- Elaboración de artículos a partir de mejoras identificadas en los reportes técnicos y realización de ponencias.
- Elaboración del documento oficial de la tesis

1.3.4 Cumplimiento de los objetivos

A continuación, se explica *grosso modo* la manera en la cual se abordaron cada uno de los objetivos con el fin de darles cumplimiento.

Objetivo 1. Identificar los niveles de la integración de procesos de negocio, que permitan la definición de un método de integración con información dependiente del ambiente y del dominio.

Para el logro del objetivo se conceptualizó la BPI en términos de niveles de integración generado así un esquema general del método. Posteriormente se formalizó la información asociada a los niveles de integración, estos son: Nivel lógico y nivel físico, cada uno de ellos con aspectos contextuales relacionados.

La representación de los procesos de basa en el diseño de una *Ontología de variantes de procesos y su contexto*, de esta manera se crean atributos adicionales que se asocian a elementos del dominio y contexto.

Una vez se identificaron los elementos contextuales se hizo una representación basada en grafos de estados de los *procesos base* y sus variantes. Posteriormente se aplicó una aproximación orientada a propagación de restricciones.

El objetivo contempla la propuesta de un método para la integración, que ofrece la capacidad de identificar elementos contextuales a partir del dominio de ejecución, de esta manera los objetivos que siguen se encargan del modelamiento y razonamiento de las situaciones contextuales.

Objetivo 2. Definir las fases del método de integración de procesos de negocio mediante la identificación de los elementos y procesos con información situacional que permita la obtención de un modelo de contexto.

Una vez definidas las fases de un método de integración, se realizó una formalización de las restricciones identificadas en los niveles de integración. Luego se llevó a cabo la representación de inferencias mediante reglas de producción, facilitando la definición y formalización de situaciones, entidades y condiciones contextuales. El modelo de contexto complementa la definición de las variantes, así como las fases del método de integración.

Objetivo 3. Modelar un sistema de razonamiento basado en técnicas de la Inteligencia Artificial que soporte la similitud, el comportamiento y el análisis de la integración de procesos basado en un modelo de contexto.

Para el logro del objetivo, se propuso el diseño de un mecanismo de razonamiento inteligente compuesto por un módulo de agrupamiento y clasificación, complementado con características de adaptación y sensibilidad al contexto.

La sensibilidad al contexto está soportada con el diseño de una arquitectura multi-agente tipo BDI (Beliefs, Desires, Intentions). Así mismo para la verificación del comportamiento de los procesos, se emplea un enfoque basado en la teoría de satisfacción de restricciones.

La adaptación se fundamenta en la capacidad de cambiar de grupos de selección, así como en la capacidad de soluciones y razonar sobre el entorno por medio de comunicaciones entre agentes.

Objetivo 4. Desarrollar de una arquitectura computacional que permita la validación del método de integración de procesos de negocio propuesto mediante el diseño de casos de estudio apropiados.

Para el logro del objetivo, se diseñaron cuatro casos de estudio, cada uno de ellos con sus respectivas variantes, posteriormente se propuso el diseño de una arquitectura de software basada en capas de abstracción, la cual da soporte al método de integración.

La implementación entonces se complementa con un sistema orientado a servicios, el cual garantiza que se accedan a los componentes externos que generan dependencia del sistema a las variables del contexto.

La validación tiene en cuenta: el mecanismo de inferencia, para lo cual se evalúa su capacidad de búsqueda y recuperación. Para el caso del método obtenido en el objetivo uno se evalúa su rendimiento, capacidad de integración de variantes a partir del grado de similitud obtenido en la regresión de la integración.

1.3.5 Principales contribuciones de la tesis

Las siguientes contribuciones se clasifican en el desarrollo o generación de:

- Generación de nuevos conocimientos y/o desarrollos tecnológicos.

- La conceptualización de la BPI, apoyada por un razonamiento semántico basado en ontologías, con el fin de brindar capacidad de sensibilidad del contexto a elementos y actividades de la integración.
- La formalización en lógica de primer orden de los niveles de integración e información contextual que se asocia a un proceso de BPI.
- Un método definido mediante fases de la integración de procesos de negocio y centrado en la propagación de cambios con fines de actualización. La información contextual relacionada, tiene en cuenta elementos del dominio que en determinadas situaciones afectan el rendimiento de la variante, si llegase el caso de propagarle cambios.
- Una formalización del problema de propagación de restricciones aplicado a un método de integración basado en enfoques de aprendizaje mediante técnicas de

IA. A lo anterior se suma, la representación semántica del contexto para las variantes, realizada por medio de una ontología.

- Fortalecimiento a la comunidad científica.

- Un mecanismo de razonamiento de aprendizaje no supervisado fue desarrollado, con el fin determinar inconsistencias de rendimiento y comportamiento, a partir del análisis de las situaciones contextuales definidas. Su implementación se realizó sobre una colección de variantes.
- La aplicación y validación del método mediante la definición de cuatro casos de estudio a saber: Admisión Universitaria, Producción de Café, Acreditación universitaria, gestión documental académica. Para el esquema de representación de procesos y de los elementos contextuales se empleó el estándar XPDL junto con la notación BPMN.
- Un prototipo de validación fue desarrollado, el cual está basado en un enfoque distribuido, empleando una arquitectura orientada a servicios, complementada con una arquitectura orientada a agentes.

- Apropiación social del conocimiento.

- Consolidación de la red académica nacional, regional e internacional relacionada con Procesos de negocio y computación sensible al contexto. Así por ejemplo, se establecieron contactos y vínculos con científicos y académicos de universidades de Brasil, Australia y Francia.
- Transferencia de conocimiento a estudiantes de posgrado. Así por ejemplo se vinculó un estudiante de maestría de la Universidad Nacional de Colombia para la construcción grupal de un sistema multi-agente que analiza y razona sobre las ejecuciones de los procesos de negocio..

- Creación de semillero de investigación en inteligencia computacional, dentro del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (Institución donde laboro). En dicho semillero se ha compartido la problemática de procesos de negocio y su integración.
- Fortalecimiento en los currículos de pregrado y posgrado, mediante la creación de la cátedra “Gestión de procesos de negocio” como curso de profundización en el programa de Maestría en Ingeniería del PCJIC.

1.3.6 Divulgación de resultados

Esta sección presenta la divulgación de resultado, compuesta por: artículo en revistas indexadas, ponencias en eventos internacionales (idiomas: inglés, español, portugués), citas hechas por terceros, proyectos de investigación involucrados y pasantías de investigación realizadas.

Artículos en revistas

- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. (2014). Aproximación Metodológica Sensible y Adaptable al Contexto para la Integración de Procesos de Negocio en la Industria del Café. Información tecnológica, 25(5), 163-174. **(Revista Clasificación A2/ Homologada COLCIENCIAS)**.
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. (2015). Hacia un método de integración de procesos de negocio basado en escenarios, niveles arquitectónicos e información contextual. Ingeniería y Desarrollo, 33(1). **(Revista Clasificación A2 COLCIENCIAS)**
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. (2015, August). Developing a Context Model of Process Variants for Business Process Integration. In International Conference on HCI in Business (pp. 458-468). Springer, Cham. **(Lecture Notes in Computer Science) (Clasificación A2 / Homologada COLCIENCIAS)**
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. (2016). Mecanismo de Inferencia Sensible al Contexto para la Integración de Procesos de Negocio en Acreditación Académica. Formación universitaria, 9(4), 53-62. **(Clasificación A1 / Homologada COLCIENCIAS)**
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Salazar, O. M. (2016) Modelo basado en servicios web para la comparación inteligente de procesos de negocio. Revista GTI, 15(41), 57-64. **(Revista Clasificación B COLCIENCIAS)**
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A., & Santoro, F. M. (2018) Sistema para la Integración de procesos de Negocio basado en situaciones contextuales. Caso estudio: Admisión

Universitaria. Revista Scientia et Technica. UPT. **(Clasificación B COLCIENCIAS)**
(Proceso de evaluación)

Capítulo de Libro

- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A., Arquitectura multicapa de integración de procesos de negocio basada en conocimiento histórico y contextual. **Libro:** Ingeniería de Software e Ingeniería del conocimiento: dos disciplinas interrelacionadas. ISBN: 9789588815312 (2014)

Eventos (Ponencias)

- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A., Aproximación metodológica a la integración de procesos de negocio en la industria del Café, sensible y adaptable al contexto. **Evento:** CAIP - 11 Congreso interamericano de computación aplicada a la industria de procesos - Lima, Perú – 2013.
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. Conceptualization of context aware business process integration based on variants **Evento:** X Simposio Brasileiro de Sistemas de Informação - Londrina, Brasil – 2014.
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. Developing a Context Model of Process Variants for Business Process Integration **Evento:** HCI - 17th International Conference on Human-Computer Interaction - Los Angeles, U.S.A – 2015.
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. Mecanismo de Inferencia Sensible al Contexto para la Integración de Procesos de Negocio en Acreditación Académica. **Evento:** CAIP - 12 Congreso interamericano de computación aplicada a la industria de procesos - Cartagena, Colombia – 2015.
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. Constraint-based context model for business process integration in a higher education domain. **Evento:** The Tenth International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context. Paris Francia. 2017.
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. Comparación de Atributos Contextuales utilizando Técnicas de Agrupamiento para Apoyar la Integración de Procesos de Negocio. **Evento:** CAIP - 13 Congreso interamericano de computación aplicada a la industria de procesos – México. 2017.
- Giraldo, J. E., Ovalle, D. A. & Santoro, F. M. Business Process Integration System based on Contextual Situations. Study Case: University Admission. **Evento:** V Encuentro Internacional y IX Nacional de Investigación en Ingeniería de Sistemas e Informática - EISI 2017. Colombia. 2017.

Citaciones

- Chen, Y. (2016). Industrial information integration—A literature review 2006–2015. Journal of Industrial Information Integration, 2, 30-64.

- Ponce Herrera, K. C. (2016). Propuesta de implementación de gestión por procesos para incrementar los niveles de productividad en una empresa textil. Tesis de Maestría. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

Proyecto de investigación

Gracias al apoyo de la Universidad Nacional de Colombia se logró definir un proyecto interno titulado “Método de integración inteligente de procesos de negocio sensible y adaptado al contexto” de la Universidad Nacional de Colombia a través del programa de apoyos a posgrados, con código Quipu 200000013723. Como resultado de este apoyo se logró:

- La vinculación de un estudiante de maestría.
- La elaboración y publicación de un artículo en revista indexada.
- El fortalecimiento de grupo de investigación y desarrollo en Inteligencias Artificial GIDIA.
- El Avance en el diseño e implementación del prototipo de validación.

Pasantías en investigación realizadas

- Pasantía a la Universidad Federal del Estado de Rio de Janeiro, Brasil, con duración 3 meses en el 2013. Experto: Flavia María Santoro.
- Pasantía a la ciudad de Londrina, Brasil, duración 8 días en el 2014. Experto: Flavia María Santoro.
- Pasantía a la ciudad de París-Francia, duración 8 días en el 2017. Expertos: Patrick Brezillon, Flavia Santoro.

1.4 Organización del documento

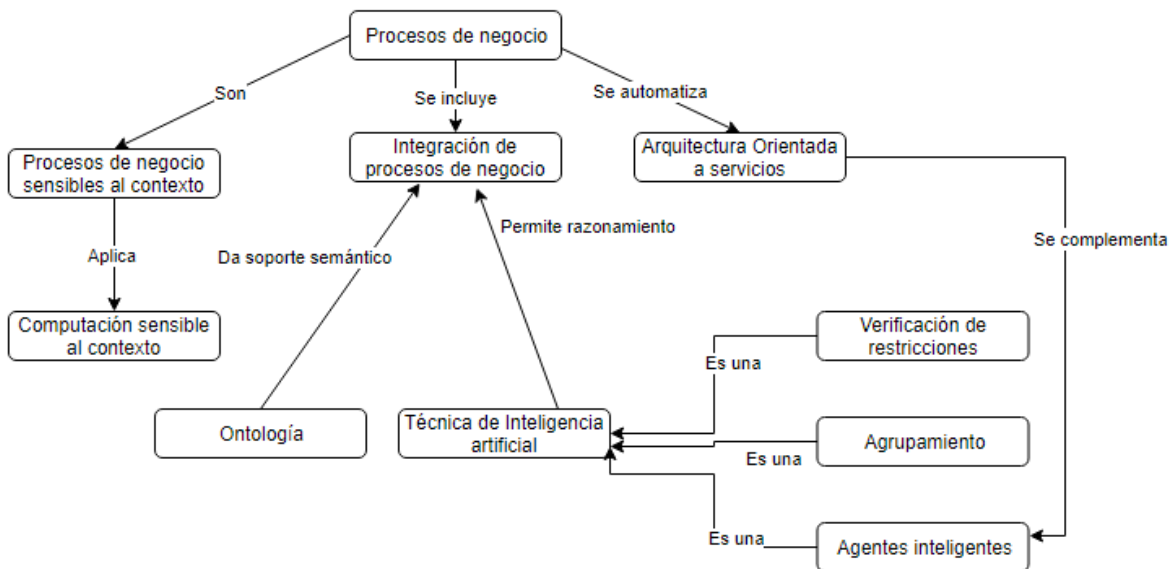
El documento está organizado de la siguiente manera; el capítulo 2 presenta el marco teórico relacionado con esta tesis de doctorado. El capítulo 3 presenta la revisión de literatura, donde se describen los trabajos más representativos desde 3 enfoques propuestos, para posteriormente realizar un análisis crítico e identificar fortalezas y limitaciones. El método propuesto, sus elementos, sus fases y formalización se describe en el capítulo 4. La implementación y validación del método son presentados en el capítulo 5; por último, en el capítulo 6, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2.Marco Teórico

En este capítulo se presentan los conceptos más significativos para la definición de un método inteligente, sensible y adaptado al contexto para la integración de procesos. La Figura 2-1 presenta un mapa conceptual de la relación de dichos conceptos.

El concepto de mayor jerarquía es el Proceso de negocio, al cual se le puede incluir en un método de integración de procesos, son sensibles al contexto y pueden ser automatizados con un enfoque orientado a objetos. La inteligencia artificial aporta en el razonamiento de la información de la integración, permitiendo así dar un apoyo apropiado a la toma de decisiones.

FIGURA 2-1 MAPA CONCEPTUAL DEL MARCO TEÓRICO



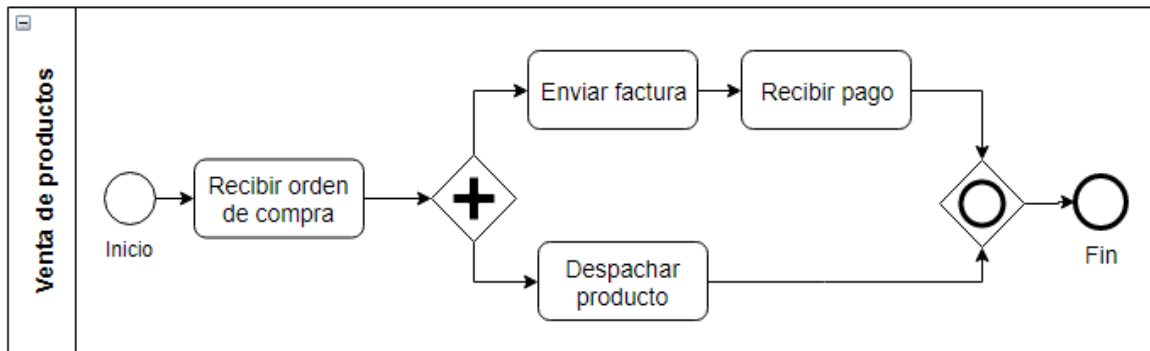
Fuente: Autor

2.1 Proceso de negocio

Un proceso de negocio (BP – Por sus siglas en inglés) “consiste en un conjunto de actividades que se ejecutan en un ambiente técnico y organizacional, y están organizadas de manera lógica para llevar a cabo un objetivo de negocio” (Weske, 2010).

Los BP representan la dinámica de una organización, ya que definen los flujos de trabajo organizacional, incluyendo a las personas que intervienen, todo ello con el fin de generar valor agregado al producto y/o servicios que ofrece la organización. La Figura 2-2 presenta un ejemplo de BP relacionado con la *Venta de productos*. Se observa un conjunto de actividades ordenadas de una manera lógica para lograr la venta de un producto.

FIGURA 2-2 PROCESO DE NEGOCIO VENTA DE PRODUCTO



Fuente: (Weske, 2010).

La gestión de procesos de negocio (BPM – *por sus siglas en inglés*) se realiza con base en el ciclo de vida de un BP, el cual propone fases de: (1) Diseño y análisis, (2) configuración, (3) Implementación y (4) Evaluación. Todas las fases están centradas en lograr la automatización y mejoramiento constante de los BP.

Los BP buscan principalmente modelar los objetivos de negocio y estrategias relacionadas, sin embargo, pueden ser usados para tratar con procesos de tipo operacional, como por ejemplo: compra de suministros de aseo (*i.e proceso no estratégico*). A lo anterior se suma que los BP pueden ser empleados para el control de actividades de implementación y monitoreo de ambientes donde son implementados, como por ejemplo *procedimientos de instalación de tecnologías*.

Como instrumento principal para lograr todo lo anteriormente señalado, se tiene al *Modelo de Proceso*, el cual consiste la representación de la estructura del proceso a través de sus actividades, flujos y restricciones asociadas (Dumas et al., 2013). El modelo proceso, sirve como plantilla a seguir por las instancias generadas.

2.2 Integración de procesos de negocio

La integración de procesos de negocio (*BPI – por sus siglas en inglés*) es un concepto que ha sido empleado en distintos ámbitos de la informática y la computación. Por ejemplo, en el comercio electrónico suele asociarse a *B2B - Business to Business*, en el desarrollo de software es visto como *EAI – Enterprise Application Integration*, para los sistemas de información como *Sistemas de gestión de flujos de trabajo – WorkFlow System* y para el caso de los ambientes web puede asimilarse como *Composición de Servicios Web*.

Sin importar el enfoque de la BPI, se logra la consolidación o agrupamiento de elementos de un sistema, con el fin de obtener una visión holística que facilite la realización de una de las siguientes acciones:

- Fusionar uno o más procesos de negocio con el fin de generar un nuevo modelo de proceso que consolide la funcionalidad de sus antecesores.
- Identificar un comportamiento global de los procesos, a partir del análisis de su intercambio de mensajes.
- Lograr objetivos complejos a partir del intercambio de información, funciones y recursos dentro de un grupo de elementos.
- Actualizar procesos a partir de cambios en su modelo de referencia. La actualización de cambios se realiza mediante procedimientos de propagación.

Con base en lo anterior, la integración de procesos de negocio se puede definir como: la consolidación de un conjunto de modelos de proceso de manera parcial o definitiva, con el fin de poder analizar y propagar cambios relacionados con su estructura, ambiente de ejecución e información dependiente del dominio.

Según Morrison et al. (2009) la integración de procesos se caracteriza por dos fases, la similitud y la de consolidación. La primera enfatiza en la clasificación de objetos a partir de rasgos comunes. Sebu y Ciocarlie (2015) plantean que para comparar dos o más procesos se debe tener en cuenta su estructura y semántica.

Una vez se determina si dos procesos pueden integrarse se da paso a la fase de consolidación; la cual se basa principalmente en la alineación estructural y semántica, a partir de diferencias identificadas y busca la generación de un nuevo modelo de proceso.

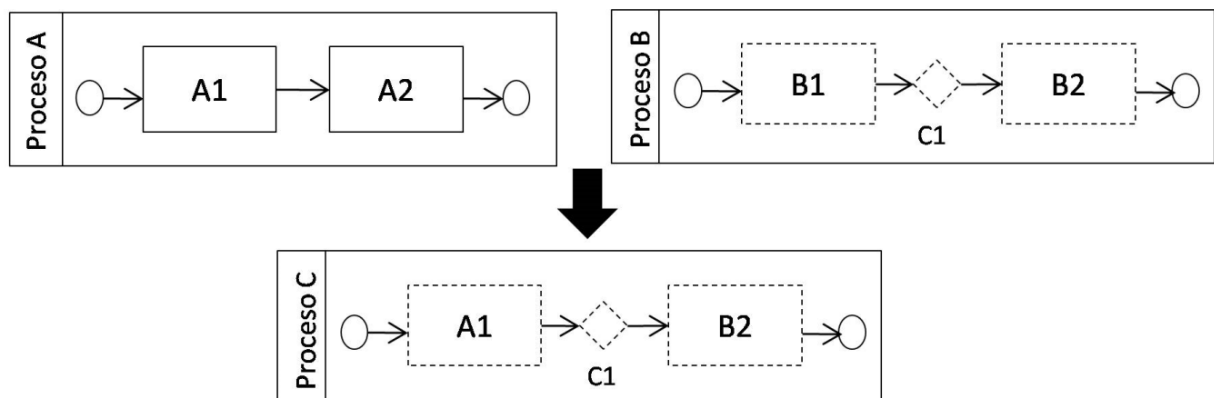
Cabe señalar, que el proceso obtenido en la integración debe garantizar los mismos niveles de rendimiento, dado en tiempo de ejecución y respuesta, lo cual garantiza que se respeten las condiciones y restricciones de la lógica de negocio, así como variables externas al proceso que influyen en su ejecución.

A modo de ejemplo, en la Figura 2-3, se presenta un ejemplo de la integración de procesos de negocio, en donde a partir de dos procesos antecedentes (Proceso A y Proceso B), se pretende generar un tercer proceso (Proceso C) que sea capaz de reemplazarlos.

La integración comprende los procesos A (líneas continuas) y B (líneas discontinuas); el primero compuesto por dos actividades secuenciales y el segundo por dos actividades separadas por una condición.

Es así como el proceso generado puede estar compuesto por una actividad del proceso A y por la condición y una actividad del proceso B. En este caso las actividades A1 y B2 son seleccionadas ya que son las más apropiadas para la integración. Adicionalmente, el proceso B contiene un condicional C1 que es seleccionado debido a que enriquece la descripción del modelo de proceso generado.

FIGURA 2-3: INTEGRACIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIO



Fuente: Autor.

2.3 Computación sensible al contexto

Según Dey (2001), se define el contexto como “cualquier información que puede ser usada para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar u objeto que se considera relevante en la interacción entre el usuario y la aplicación, incluyendo al usuario y a la aplicación misma”.

Por lo anterior la Computación Sensible al Contexto tiene como objetivo principal el uso del contexto para el mejoramiento de la interacción entre computadores y usuarios. La sensibilidad al contexto radica en la capacidad de adaptarse a situaciones contextuales; por tanto un sistema sensible al contexto es aquel que tiene la capacidad de comprender el ambiente en el cual es ejecutado y adaptar sus operaciones para proveer la mejor experiencia al usuario (Krumm, 2016).

Un modelo de contexto hace referencia al sistema que soporta la captura, almacenamiento y procesamiento de datos contextuales, con el fin de relacionar situaciones con los dominios de ejecución. Bettini et al. (2010) concluyen que el uso de Ontologías es una aproximación apropiada para la representación del contexto, ya que permite mayor expresividad y facilita la interoperabilidad de términos, así como la recuperación de información relacionada con los procesos.

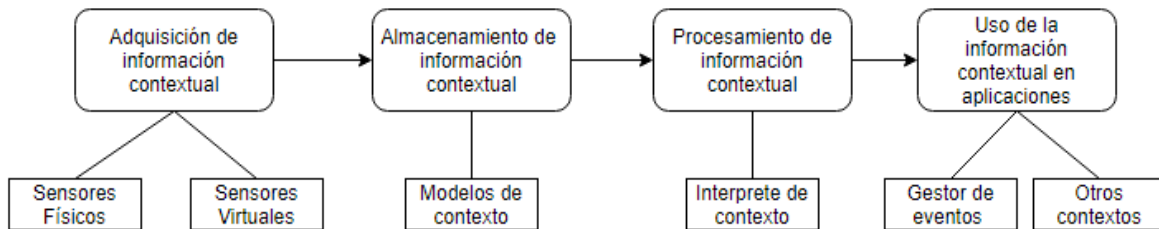
Los principales elementos de un modelo de contexto son: Entidades contextuales (Ejemplo: ambiente), atributos contextuales (e.g. temperatura), valores contextuales (e.g. temperatura alta), situaciones contextuales (e.g. temperatura en hora del día).

El principal elemento para razonar sobre el contexto, son las situaciones, ya que están ligadas directamente con el dominio y ambiente de ejecución. Por lo anterior, las instancias de ejecución determinan las situaciones presentes.

Una situación se define como la relación de conceptos de un dominio con el ambiente y con otras instancias, los valores de las relaciones indican la presencia o no de la situación. En Sikounmo et al. (2017) se presenta un ejemplo la relación entre una instancia de la clase *persona* con una instancia de la clase *silla*, dependiendo de la proximidad física entre las instancias, se decide si la persona puede sentar en la silla, de lo contrario caería al suelo.

Lee et al. (2011) presentan un método generalizado para el procesamiento del contexto para un sistema sensible al contexto (ver Figura 2.4). El método comprende la adquisición de la información, almacenamiento, control y ajuste de niveles de abstracción y la utilización de dicha información en distintos servicios y dispositivos.

FIGURA 2-4: MÉTODO GENERALIZADO DE PROCESAMIENTO DEL CONTEXTO



Fuente: (Lee et al., 2011).

La adquisición de información contextual presenta retos interesantes con el uso de sensores, especialmente los virtuales, ya que se pueden aprovechar tecnologías de tipo distribuido, como los servicios web o agentes de software, así como herramientas de representación como lo son las ontologías para el desarrollo de soluciones.

Las ontologías se emplean en el modelamiento del contexto, principalmente para determinar los conceptos e instancias involucrados en una situación. A partir de dicha identificación, se razona por medio de restricciones con el fin de validar la presencia o no de la situación.

Los sistemas sensibles al contexto aprovechan la información recolectada, para procesarla, aplicar reglas de razonamiento y aprendizaje, con el fin de tomar acciones de adaptación a dicho contexto, las acciones pueden realizarse de manera autónoma o guiadas por el usuario.

Con base en lo anterior, un sistema sensible al contexto puede caracterizarse por ser:

Sistema adaptable al contexto: Teniendo en cuenta que un sistema adaptable permite la intervención del usuario en las funciones de adaptación; un sistema adaptable al contexto es aquel que emplea la información contextual para entregarla al usuario y con ella se tomen acciones de adaptación, en consecuencia el sistema debe tener un diseño parametrizable que facilite configuraciones en sus datos de entrada.

Sistemas adaptativos al contexto: Los sistemas adaptativos al contexto procesan la información desde un punto de vista racional, basado en reglas y restricciones, con el fin de tomar de manera autónoma decisiones de su comportamiento.

2.4 Procesos de negocio sensibles al contexto

La representación y modelado del contexto ha tomado auge dentro de las organizaciones, debido a su capacidad de implementación directa con los procesos de negocio. Ploesser et al. en (2009) plantean que, a partir de la información disponible en el contexto es posible mejorar el funcionamiento de los procesos.

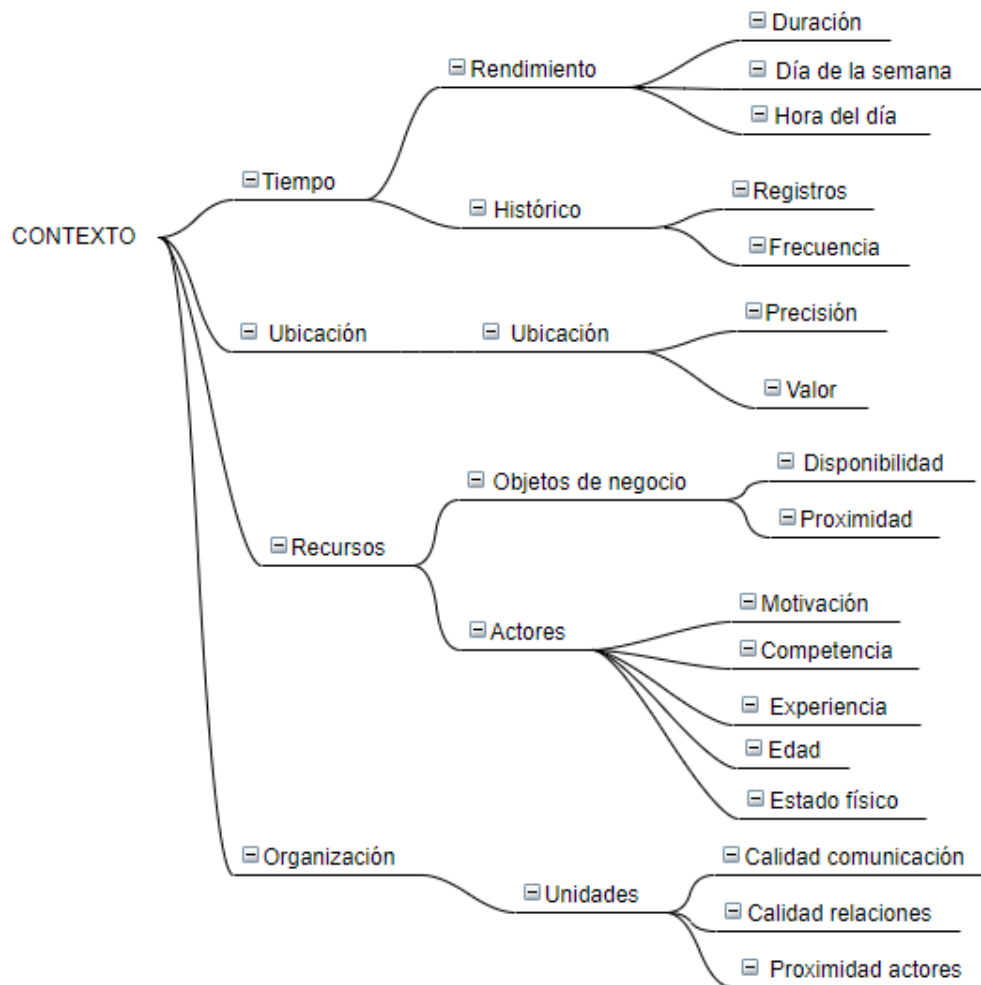
Un proceso de negocio, además de estar asociado con un dominio de ejecución, no es ajeno a la presencia de situaciones propias del dominio que restringen los valores de variables del dominio, lo que conlleva a generar comportamientos no esperados en los procesos y con ello los inconvenientes que pueden presentarse en términos la satisfacción de los usuarios de dichos procesos.

Saidani & Nurcan (2009), proponen la representación de las posibles variables del proceso que pueden ser afectadas por el contexto. En la Figura 2-5, se presenta una jerarquización del contexto relacionado basado en cuatro componentes a saber: tiempo, ubicación, recursos y organización.

Se observa que la entidad tiempo, en términos históricos, se compone de un atributo contextual *frecuencia*, el cual puede tener valores contextuales definidos. Así mismo para la categoría de ubicación se determina como valor contextual las zonas geográficas, que a su vez puede ser cambiante.

Cabe resaltar la importancia de la información de los recursos que emplea el proceso, así como la organización donde se ejecuta. La primera de ellas resalta la importancia del actor del proceso y la segunda, procesa información relacionada directamente con la gestión organizacional (i.e. interacciones, comunicación, cercanía dentro del flujo).

Figura 2-5: Clasificación del contexto para un proceso.



Fuente: (Saidani & Nurcan, 2009).

Con base en lo anterior es evidente que, para un dominio de aplicación, se deben seleccionar los atributos sensibles al contexto, de esta manera se evita consultar información no prioritaria para el proceso.

Por tanto, el contexto de un proceso de negocio depende directamente de las variables del dominio de ejecución. Ya que estas últimas afectan conceptos del dominio con alertas contextuales que generan la activación de situaciones. Esto quiere decir, que cada situación afecta una o más entidades relacionadas con el proceso.

Santo et al. (2015) definen una situación contextual como el conjunto de valores contextuales C_e , representado por medio de un valor específico en el tiempo asociado a un dominio $Dom(C_e, tiempo)$.

2.5 Problemas de verificación de restricciones

Un Problema de Verificación de Restricciones -PVR-, puede ser expresado de la siguiente manera (Russel & Norvin, 2004): Dado un conjunto de variables junto con sus posibles respectivos valores y una lista de restricciones, encontrar los valores para las variables que satisfagan las restricciones definidas.

Un PVR consiste de: un conjunto de variables $X = \{x_1, \dots, x_i\}$; por cada variable x , un dominio finito D_i de posibles valores para las variables que aborda; por último, un conjunto de restricciones que determinan el valor que las variables pueden tomar simultáneamente.

Un PVR consta de dos pasos; primero se descubren las restricciones y se propagan a través del sistema. La propagación de las restricciones se conoce como el proceso en el cual se analizan las restricciones en el sistema. Segundo se evalúa si los valores asignados facilitan una solución, de lo contrario se registran como restricciones. Entonces, la propagación continúa con esta nueva restricción hasta encontrar una solución

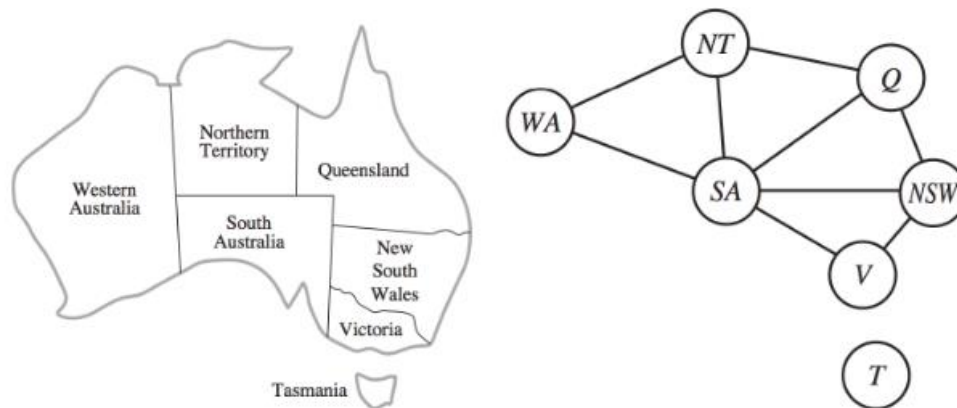
Una solución a un PVR es una asignación de valores a todas las variables de manera que satisfaga todas las restricciones. Realmente los objetivos que se persiguen con el uso de restricciones en la solución de problemas se centran en encontrar una solución, sin preferencia alguna, encontrar todas las soluciones, o quizás una buena solución según una función objetivo.

El ejemplo clásico asociado a la PVR es el llenado del mapa; básicamente consiste en llenar de colores las zonas geográficas de un mapa. La Figura 2-6, presenta el estado inicial y uno de los estados objetivos.

Cabe señalar que la manera de representar los estados de un problema es por medio de grafos, lo que facilita la representación de flujos de procesos y la aplicación de mecanismos de razonamiento, como los algoritmos de recorridos.

Para el caso de la BPI, La verificación de restricciones emplea un grafo representativo del modelo de proceso generado, a partir de ello, realiza una propagación de las restricciones sobre el grafo. La propagación permite evaluar si al grafo generado le afecta en su rendimiento lo cambios propuestos.

FIGURA 2-6: PROBLEMA DE VERIFICACIÓN DE RESTRICCIONES.



Fuente: (Russel & Norvin, 2004).

2.6 Algoritmos de agrupamiento de datos

El agrupamiento -*Clustering*- de datos, consiste en encontrar grupos de instancias con características similares (Van, 2011). Se consideran las técnicas de agrupamiento como parte del aprendizaje *no supervisado*, esto quiere decir, que no se trabaja con datos de ejemplo o históricos.

Las técnicas de agrupamiento tienen variedad de aplicaciones, entre ellas se cuentan: exploración de datos científicos, extracción de texto, procesamiento de datos espaciales, análisis de datos clínicos, aplicaciones web, análisis de ADN y muchas más (Sajja, 2012).

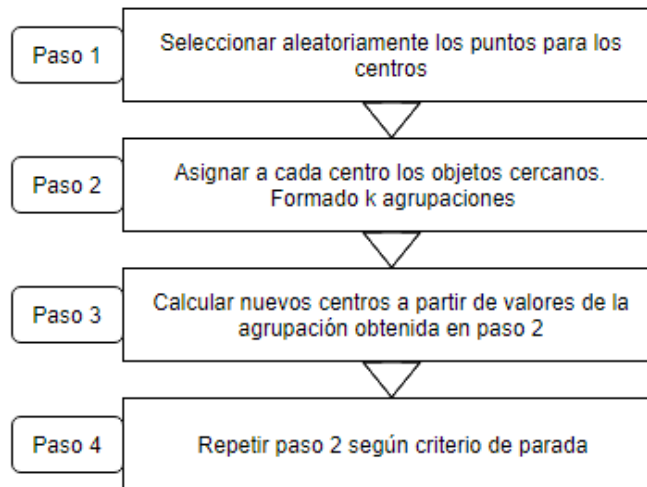
Dentro de los algoritmos más representativos se tiene a los algoritmos de *aglomeramiento* y de *centroides*. El primero de ellos busca a partir de grupos definidos, validar la pertenencia de los datos a un centro. Por su parte los algoritmos basados en centroides (K-means), busca la definición de grupos a partir de datos dispersos.

El algoritmo de agrupamiento K-means, hace parte de las técnicas de aprendizaje de máquina, junto con el descubrimiento de patrones. Para la determinación de los grupos se define una medida de similitud, que puede ser obtenida por medio de heurísticas.

La Figura 2-7 presenta el funcionamiento general del algoritmo K-means. Inicialmente se definen de manera aleatoria centros de agrupamiento. Luego en el paso dos, se asigna cada elemento al centro más cercano a este, generando así K grupos de acuerdo a los K centros generados. El paso tres, valida la distancia y de ser necesario calcula de nuevo las

agrupaciones a partir de la modificación de los centros. El paso 4 indica la repetición del procedimiento hasta lo indicado por el criterio de parada.

FIGURA 2-7: ALGORITMO K-MEANS.



Fuente: (Sajja, 2012).

Las restricciones desempeñan un papel importante ya que permiten la segregación de los procesos, a partir de los valores obtenidos en sus métricas de similitud sintáctica y semántica.

En el área de los procesos de negocio, el agrupamiento se emplea principalmente para procedimiento de comparación y clasificación de bitácoras de ejecuciones de los modelos de procesos. Las ejecuciones representan el comportamiento del proceso, indicando los recursos asociados, los actores involucrados e información del dominio y contexto.

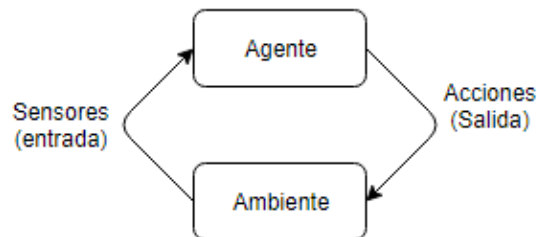
A partir de estos elementos del proceso se realiza una comparación y se puede determinar si un proceso pertenece a uno de los siguientes grupos, **Seleccionable**, **No Seleccionable** o **No Clasificado**. El primero indica que el modelo puede ser incluido en la integración, mientras que el grupo *No Seleccionable* significa que el modelo de proceso se relaciona con situaciones que afectan su rendimiento, por tanto, se recomienda no incluirlo en la integración. El grupo *No Clasificada* indica que el proceso no es coherente sintáctica y semánticamente con los otros procesos, indicando baja similitud, que llevaría a un incorrecto razonamiento.

2.7 Agentes Inteligentes

Un Agente de software es un sistema reactivo con algún grado de autonomía, que realiza por sí mismo las acciones necesarias para llevar a cabo las tareas asignadas. Se define como agente, debido a su capacidad de robustez, reacción y acción al ambiente por medio de sensores y actuadores (Weiss, 1999).

La Figura 2-8 presenta la interacción del agente con su ambiente, los agentes toman información por medio de sensores de ambiente, generando así percepciones, que permiten el razonamiento y toma de decisiones, produciendo acciones que se realizan en el ambiente por medio de actuadores.

FIGURA 2-8: AGENTE INTELIGENTE Y SU ENTORNO.



Fuente: (Weiss, 1999).

Con base en la capacidad de reacción y acción sobre el entorno, los agentes inteligentes se caracterizan por tener proactividad y habilidad social. La primera se enfoca en la definición de metas claras asignadas a un agente para que pueda tomar la iniciativa para llevar a cabo las tareas necesarias.

Por su parte la característica de habilidad social busca que el agente pueda interactuar con otros agentes, para alcanzar los objetivos planteados. La negociación, colaboración y competencia, hacen parte de las actividades que se realizan en la interacción.

Según Russel & Norvin (2004) las principales características de los agentes inteligentes son:

- **Autonomía:** Capacidad de realizar tareas a partir de información previa y un conocimiento específico. La información y creencias del agente permiten realizar el razonamiento y definición de planes de solución.

- **Reactividad:** Los agentes evalúan constantemente el ambiente buscando cambios en los valores de algunas variables, una vez es detectado el cambio se reacciona para llevar a cabo una toma de decisiones.
- **Movilidad:** La movilidad permite que el agente cambie de ambiente, con el fin de obtener más información o comparar el comportamiento de las variables en cada uno de los ambientes que visita.
- **Negociación:** Es la capacidad que tiene los agentes en interactuar con otros agentes o sistemas, buscando siempre el beneficio propio a partir de reglas de negocio muy estrictas, donde se busca siempre lograr la negociación. No obstante, el diseño de heurística mejora los criterios de decisión, permitiendo que los agentes negocien en distintos dominios.
- **Comunicación:** El intercambio de información entre agentes, comprende el uso de plantillas, vocabularios compartidos y distintos formatos en los datos. Una correcta comunicación es un factor importante en el diseño de sistemas de razonamiento distribuido basado en agentes.

Un Sistema Multi-Agente -SMA- se conoce al conjunto de agentes que interactúan entre sí para llevar a cabo una o más tareas asignadas. Así mismo, se caracterizan gestionar conocimiento e intercambiarlo por medio de performativas (i.e. primitivas del lenguaje) de comunicación (Wooldridge, 2009).

Las principales características que se aprovechan a partir de un SMA son: Negociación, cooperación, colaboración, competición, deliberación, razonamiento distribuido, entre otros, pero en especial la comunicación. Así mismo, un SMA, debe estar soportado por una arquitectura, la cual determina entre otros aspectos, los comportamientos de los agentes, los sistemas de intercambio de información y sobre todo la estrategia de razonamiento inteligente.

Según Weiss (1999), las principales arquitecturas para el diseño de Sistemas Multi-Agente son: (1) arquitectura basada lógica deductiva, (2) arquitectura basada en reacción y acción

a partir de eventos (3) arquitectura basada en Deseos, Creencias e Intenciones (BDI – Belief, Desires and Intentions) y (4) arquitectura basada en capas de agrupación.

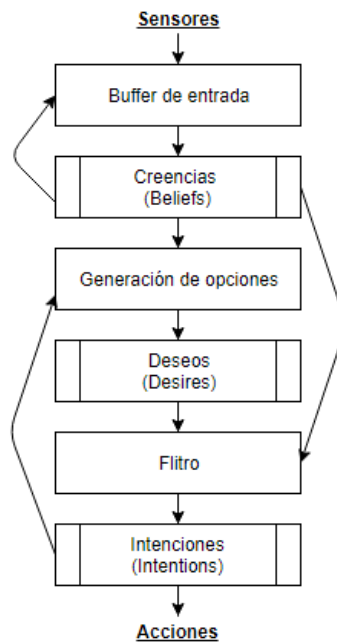
Las dos primeras arquitecturas (lógica y reactiva) centran sus soluciones al intercambio de mensajes entre agentes, potenciando la capacidad de comunicación y negociación de los SMA. Por su parte las dos últimas arquitecturas (BDI y Capas) buscan potenciar la capacidad de percepción y razonamiento distribuido de los agentes; permitiendo el agrupamiento por medio de capas.

Específicamente la Arquitectura BDI, es apropiada para el manejo de sistemas sensibles al contexto, ya que permite un mayor razonamiento empleando información del entorno y aprovechando una base de conocimiento (Creencias) un conjunto de opciones factibles (Deseos) que cambian con base a la activación de reglas de producción y un conjunto de acciones (Intenciones). La Figura 2-9 presenta el esquema general de la arquitectura BDI.

Las creencias corresponden a la información que conoce el agente sobre el entorno, a partir de la entrada de los sensores, se pretende entonces que la salida del procedimiento sea una actualización de las creencias. Luego de analizar se generan opciones de solución, las cuales son vistas como los deseos del agente, lo que constituyen planes de acción alternativos. Por último, una vez se selecciona un deseo, se convierte en una Intención, donde se lleva a cabo como objetivo principal.

Son varias las metodologías para el desarrollo de sistemas multi-agente (Marchetti et al. 2004), cada una de ellas con características y fortalezas propias para un tipo de arquitectura, no obstante, la metodología Prometheus (Padgham et al. 2005), es la indicada para el desarrollo de sistemas basado en agentes con capacidad de razonamiento sobre el contexto.

FIGURA 2-9: ARQUITECTURA BDI PARA SISTEMAS MULTI-AGENTES.

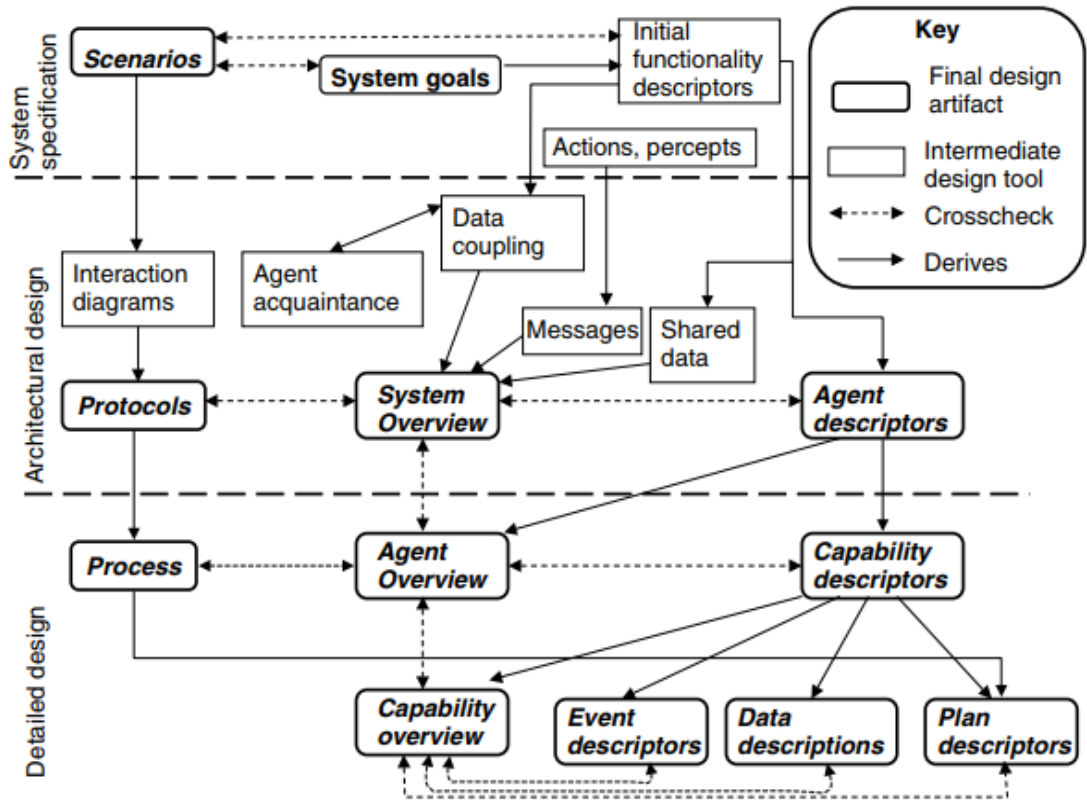


Fuente: (Weiss, 1999).

En la Figura 2-10 presenta las fases de la metodología Prometheus, la cual se compone de 3 fases a saber:

- Fase de especificación: Se encarga de la definición de las metas y las funcionalidades básicas del sistema apoyadas por las percepciones y acciones. Así mismo, se define la operación del sistema por medio de escenarios.
- Fase de diseño arquitectónico: Define el número y tipo de agentes, así mismo el mecanismo de interacción, los recursos a emplear y las restricciones de diseño. Se intenta definir plantillas para el monitoreo de los datos, así como la manera de intercambiarlos.
- Fase de diseño detallado: Se describe el funcionamiento individual de cada agente, indicando la manera en cómo alcanza sus metas y cómo interactúa con el sistema completo.

FIGURA 2-10: FASES DE LA METODOLOGÍA PROMETHEUS



Fuente: (Padgham et al. 2005)

2.8 Arquitectura orientada a servicios

Con el avance en el desarrollo de aplicaciones basadas en patrones arquitectónicos tipo cliente/servidor, toma auge el enfoque entregar el software como un servicio, en donde el usuario del sistema consume el servicio solo cuando lo necesita. Así mismo, se facilita la diversificación de aplicaciones y su contante versionamiento, ya que dichas actividades, quedan a cargo del proveedor del servicio.

Un servicio web, se define como una aplicación modular y auto-descrita que se ejecuta en ambientes web, permitiendo la interacción con otros componentes de software a través del intercambio de mensajes vía protocolos de comunicación de internet, como los son XML/RPC y SOAP (Alonso et al., 2004).

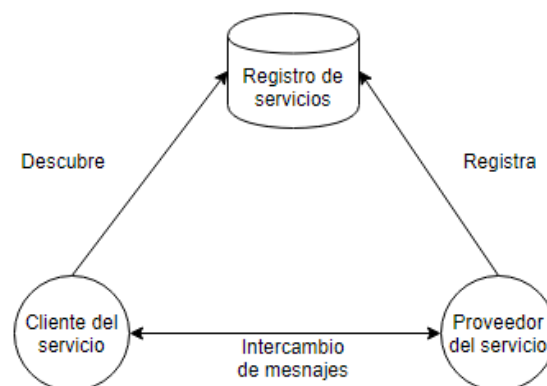
La computación orientada a servicios centra sus fundamentos en el uso del software, más que en la adquisición (Erl, 2008), potenciando las características de los ambientes distribuidos, con el fin de proveer soluciones a usuario de manera transparente.

Por tanto, la arquitectura orientada a servicios (SOA – Services Oriented Architecture) es la infraestructura que permite la construcción de servicios web y aplicaciones que consuman dichos servicios. El modelado de aplicación basadas en SOA gira en torno a los siguientes componentes:

- Registro de servicios UDDI: Su función principal es la gestión de las descripciones WSDL de los servicios web. El registro permite el descubrimiento y recuperación de servicios, ofreciendo los metadatos necesarios para su consumo.
- Proveedor del servicio: Se encarga de la construcción y mantenimiento del servicio. Una vez el proveedor construye el servicio, debe registrarlo en el servicio en el registro UDDI.
- Cliente del servicio: Encargado de realizar las peticiones a los servicios una vez es ubicado en el registro de servicios.

La Figura 2-11 presenta la interacción de los elementos descritos. Nótese que la interacción con el registro es unidireccional, permitiendo así la autogestión, por parte del proveedor y el cliente

FIGURA 2-11: ARQUITECTURA ORIENTADA A SERVICIOS.



Fuente: (Erl, 2008)

Por su parte la interacción entre estos dos últimos componentes, se realiza de manera bidireccional, pues se basa en comunicaciones petición/respuesta descritas con el protocolo SOAP.

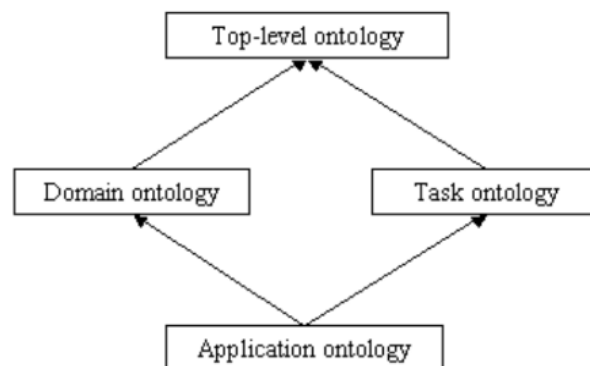
En el campo de los procesos de negocio, es importante resaltar la capacidad de ejecución de los servicios web en ambientes distribuidos. Cabrera et al. (2017) destacan la importancia de unir el área de los servicios web y las ontologías para su aprovechamiento en ambientes de ejecución de procesos de negocio.

2.9 Ontologías

Las ontologías permiten la representación por medio de conceptos de la información relacionada con un dominio de interés. Básicamente una ontología sirve para validar relaciones entre instancias de un dominio, así mismo entrega información por medio de dichas instancias indicando cuales cumplen o no ciertos valores. Según Gruber et al. (1994) una ontología se define como: *“Una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida.”*

En la Figura 2-12 se presenta la categorización de ontologías propuesta por Guarino (1998); se observa una dependencia entre la capas, donde las ontologías de alto nivel (meta-ontologías) permiten la definición de meta-vocabularios que son instanciados en ontologías de dominio y de tareas. Las ontologías de aplicaciones se enfocan en la definición de ambientes de ejecución y características tecnológicas asociadas.

FIGURA 2-12: CATEGORIZACIÓN DE ONTOLOGÍAS.



Fuente: (Guarino, 1998).

El auge de las ontologías y sus aplicaciones en distintos ambientes, generó la necesidad de la definición de metodologías, lenguajes, estándares y tecnologías que guiaran de manera sistemática el desarrollo de ontologías, dando paso a lo que se conoce como la ingeniería ontológica (Antoniou & vanHarmelen, 2004).

La ingeniería ontológica, tiene como instrumento principal las metodologías para el desarrollo de ontologías, entre las cuales se destaca “Ontology-101” (Noy & McGuinness, 2001) que facilita por medio de ocho pasos el desarrollo de ontologías, estos son:

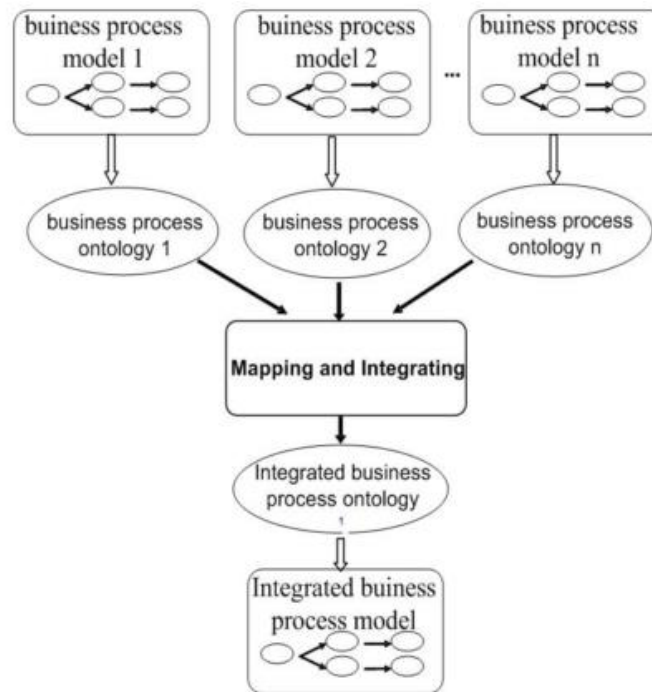
- Determinar el alcance.
- Considerar la reutilización e integración con otras ontologías.
- Enumerar términos asociados.
- Definir taxonomía de términos.
- Definir propiedades asociadas a conceptos.
- Definir restricciones
- Crear instancias.
- Verificar inconsistencias

En el campo de la BPI, una ontología permite la representación de la información contextual del dominio asociado al proceso, de esta forma facilita los mecanismos de identificación de situaciones a partir del análisis de las relaciones entre las instancias del proceso. Igualmente permite comparar parejas de procesos e identificar similitudes semánticas con el fin de mejorar la búsqueda y recuperación de información.

Fan et al. (2009) presenta una aproximación de como a partir de la unificación conceptual de los procesos, se puede llevar a cabo la BPI. La Figura 2-13 la idea propuesta, la cual se caracteriza por la definición de una ontología de dominio para cada uno de los procesos, con el fin de estandarizar los conceptos y generar un solo dominio de ejecución.

Las aplicaciones de las ontologías en el área de los procesos se enfocan principalmente en las siguientes: ejecución de procesos por medio de servicios web (Aslam et. al, 2006), comparación de procesos (Kim & Suhh, 2010) y eliminación de ambigüedades (Fan et al., 2016).

FIGURA 2-13: ONTOLOGÍAS Y LA BPI.



Fuente: (Fan et al. 2009)

2.10 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentaron los conceptos principales que se manejan en la presente tesis. como concepto central se encuentra la integración de procesos de negocio, seguido por la Computación sensible al contexto y su aplicación en el dominio de los procesos de negocio, problemas de verificación de restricciones, agrupamiento de datos, agentes inteligentes y la metodología Prometheus; para finalizar con web semántica y servicios web.

3.Revisión de literatura

La visión de integración surge a partir de la necesidad de utilizar varios ambientes de ejecución con el fin de lograr metas complejas. Vernadat (1996), propone que una correcta integración debe considerar los datos, la lógica de negocio y la capa de presentación. De esta manera, se integran todos los aspectos relacionados con una o varias aplicaciones propias de ambientes heterogéneos.

Raut & Basavaraja (2003) proponen unas de las primeras aproximaciones del uso de los procesos y su integración, se propone un enfoque iterativo y basado en capas que garantiza el modelamiento, el monitoreo y el mejoramiento de los procesos, como lo indica el ciclo de vida de los procesos de negocio.

Una vez se logra una interconexión de módulos, es posible coordinar y orquestar el flujo de información por medio de mensajes y patrones de conversación lo que genera un comportamiento global a partir de un grupo de elementos. Una primera aproximación del enfoque basado en conversaciones la presenta Hanson et al. (2002), planteando un modelo de conversaciones abstracto para procesos independientes, autónomos y distribuidos.

Con el auge de la computación orientada a servicios y su aplicación en la automatización de procesos de negocio, fue posible la generación de un nuevo proceso, resultado de la integración. Lee et al. (2005) es un ejemplo de ello, ya que, a partir de procedimientos de comparación logra alinear operaciones de servicios con tareas de procesos, generando una descripción de dicha integración.

Los antecedentes aquí expuestos, revelan los enfoques en los cuales se centran los trabajos relacionados con la Integración de Procesos de Negocio, estos son: (1) enfoque centrado en el intercambio de información entre sistemas, (2) enfoque centrado en la representación de comportamiento a partir de modelos conversacionales y (3) enfoque centrado en la generación de nuevos procesos a partir de la fusión de procesos antecesores.

Es importante señalar que, independientemente del enfoque de integración, es necesario generar una descripción abstracta de dicha integración. Dicha representación se realiza

mediante un modelo de proceso, lo cual permite aplicar y realizar tareas de verificación y validación bajo los criterios de cualquier proceso.

A continuación, se detallan los trabajos relacionados de la última década encontrados en la revisión de literatura, teniendo en cuenta aquellos orientados a la definición de métodos o procedimientos que permitan realizar una integración, así mismo se identifica su mecanismo de razonamiento, la aproximación al contexto, el sistema de agrupamiento y consolidación, su esquema de comparación, el uso de representación de conocimiento, entre otros criterios de caracterización.

3.1 Primer enfoque: integración basada en Intercambio de Información

La integración basada en el intercambio de información centra sus esfuerzos en lograr que aplicaciones distribuidas puedan interconectarse punto a punto y llevar a cabo la implementación de cada uno de los procesos que representa.

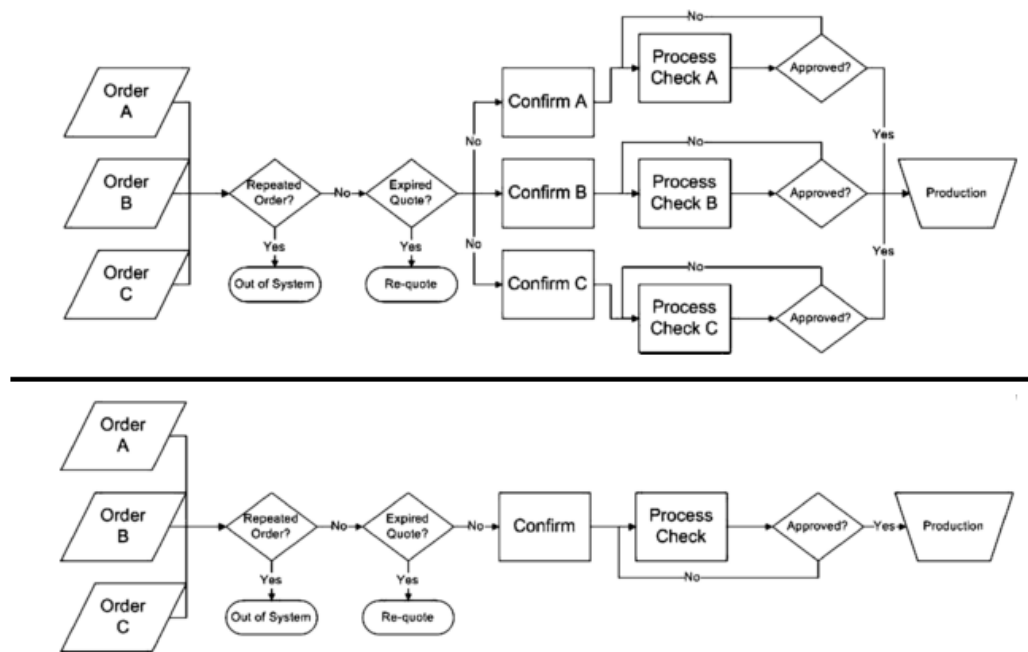
3.1.1 Trabajos relacionados

Chen & Núñez (2010) plantean una aproximación a la integración de procesos a partir del intercambio de documentación de órdenes de servicio de pedidos de cliente. Se destaca el uso de una representación matemática basada en la simulación Montecarlo para identificar actividades repetitivas que puedan consolidarse en una sola. La Figura 3-1 presenta un ejemplo de consolidación de actividades a partir del análisis de su uso.

Siguiendo con el intercambio de datos, específicamente apoyado por técnicas de minería de datos, en (Buijs et al., 2011) se hace uso de tecnologías orientadas a servicios y plataformas en la nube, para el análisis de datos de procesos de negocio, permitiendo y facilitando la comparación de colecciones de modelos de procesos. Su enfoque metodológico está centrado en el análisis de agrupaciones de datos, generando así coincidencias entre procesos.

Schubert & Legner (2011) presentan un enfoque de integración de procesos de cadena de suministro a partir de la integración de interfaces de cliente con sistemas mediadores de datos, con esto, se logra compartir información de forma segura entre las terminales. La solución radica en el uso de una plataforma mediadora con la cual es posible integrar diversas funcionalidades de sistemas heterogéneos.

Figura 3-1: Integración de Procesos de Negocio basado en análisis de uso.



Fuente: (Chen & Nunez, 2010).

Schonewille & Bouwman (2012) plantean una aproximación a la integración de procesos basada en variables del ambiente de ejecución de aplicaciones, considerando aspectos contextuales de tipo tecnológico. Su solución emplea una aproximación basada en máquinas abstractas, siendo el nivel más alto los escenarios definidos y el nivel más bajo de abstracción, los datos asociados a cada escenario.

Picón et al. (2014) plantean una solución para la integración de procesos de negocio mediante servicios web, la cual se basa en la búsqueda de procesos que puedan ser automatizados por un grupo de servicios. La aproximación metodológica consta de seis fases a seguir: Identificación y análisis de procesos, implementación de los servicios web, modelado gráfico de los procesos de negocio, implementación de interfaces, despliegue y administración.

Recientemente Yongsiriwit et al. (2016) proponen el análisis de ocurrencias y frecuencias sobre los flujos de los procesos, a partir de la definición de vínculos causales. Con base en lo anterior y empleado teoría de grafos, se identifican niveles de uso de las actividades, para posteriormente definir un solo flujo principal. Los autores proponen un método de

integración centrado en razonamiento semántico y comparaciones entre variantes, para posteriormente seleccionar los fragmentos susceptibles a reemplazos para una próxima generación.

Por último, Schmidt et al. (2017) plantean un sistema de seguridad de intercambio de información entre procesos soportado por plataformas de conexión. Por tanto, se garantiza confiabilidad en el intercambio de información, ya sea por un sistema de conexión punto a punto, por mediadores o empleando la nube. El método de integración está centrado en la protección de los datos, dependiendo de los ciclos y filtros de procesamiento de información.

3.1.2 Análisis crítico del primer enfoque

A continuación, se presenta un análisis crítico, basado en fortalezas y limitaciones, de los trabajos relacionados del primer enfoque de integración, el cual está basado en el intercambio de información entre sistemas.

Fortalezas

- Los trabajos en su mayoría tienen en cuenta el contexto, ya que la integración se realiza entre sistemas, los cuales se ejecutan en ambientes específicos. Algunos trabajos que no modelan el contexto enfocan su interés en variables del dominio que puedan afectar el ambiente de ejecución.
- La mayoría de las investigaciones consideran el uso de una plantilla abstracta que guíe el proceso de integración, donde como tarea básica se debe definir las interacciones entre componentes, sin embargo, no se define explícitamente la dinámica de los métodos, indicando los artefactos asociados a cada fase.
- Por ser integración relacionada con el intercambio de información, los ambientes tecnológicos otorgan facilidades para la definición de escenarios de corte tecnológico y de plataforma.
- Todos los trabajos son conscientes que la integración incluye por necesidad la adaptación del proceso en alguno de sus elementos, por ello sin llegar a ser explícito el concepto de adaptación se emplea entre otros: generación de alertas de cambios,

ajustes en el ambiente de ejecución, activación de la sensibilidad al contexto en dispositivos de arquitecturas de software, entre otros.

Limitaciones

No se evidencia propuesta alguna que incluya aproximaciones metodológicas las cuales soporten cada una de las fases de la integración. Así mismo, no son claros los artefactos que deben generarse durante las fases.

- Debido a la dependencia de las tecnologías, los aspectos de automatización suelen complicar las soluciones, ya que la adaptación y traducción entre sistemas, requiere constante intervención humana, lo que se refleja en el no uso de mecanismos de razonamiento automático.
- En muy pocos trabajos se hace uso de razonamiento apoyado con técnicas de inteligencia artificial. Escasas investigaciones, proponen razonamientos heurísticos y en otras se hace uso de identificación de patrones sencillos.
- Ningún trabajo considera importante las colecciones de procesos o variantes de procesos, así mismo, no se gestionan los aspectos relacionados con los cambios y su propagación, es especial desde un modelo de referencia.

3.2 Segundo Enfoque: integración basada en Conversaciones

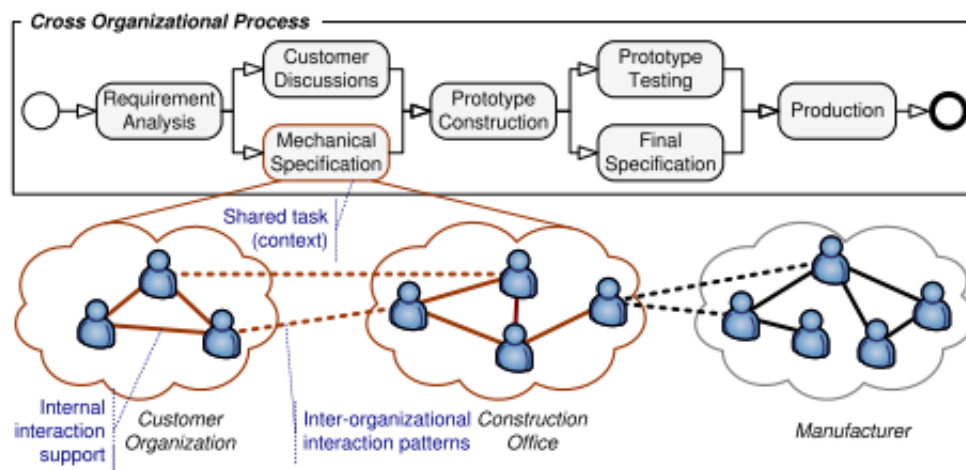
La integración de procesos desde un enfoque conversacional busca identificar un comportamiento global, que apoye la toma de decisiones. Una de las principales maneras de hacerlo es identificando afinidades semánticas entre los procesos, para posteriormente intercambiar mensajes.

3.2.1 Trabajos relacionados

Jung (2009) presenta uno de los primeros trabajos relacionados con el análisis semántico de los procesos, para lograr entendimiento común y obtener un comportamiento global. De esta manera el uso de ontologías sirve para comparar procesos a partir del significado de sus actividades. Kurniawan et al. (2011) diseñan un *framework* para establecer interacciones entre modelos de procesos, proponiendo a partir de agrupaciones el concepto de *ecosistemas de procesos*.

Las interacciones a partir de conversaciones toman auge con la inclusión en los sistemas a los roles, usuarios, propietarios y clientes del proceso. Skopik et al. (2010) evidencian la necesidad de integrar las personas en el razonamiento de las interacciones de los procesos. La Figura 3-2 presenta parte de la solución propuesta, en ella se puede apreciar la interacción entre roles.

Figura 3-2: Integración de Procesos de Negocio basada en conversaciones.



Fuente: (Skopik et al., 2010).

Basado en la alineación semántica, se pueden realizar actividades como propagación de cambios entre procesos a partir de un modelo de referencia, sin embargo, es necesario un gestor de coordinación entre ellos. Dahman et al. (2013) proponen una arquitectura basada en servicios web, para gestión del intercambio de información, con ello los protocolos de conversación son soportados por lenguajes de ejecución como el BPEL o XPD.

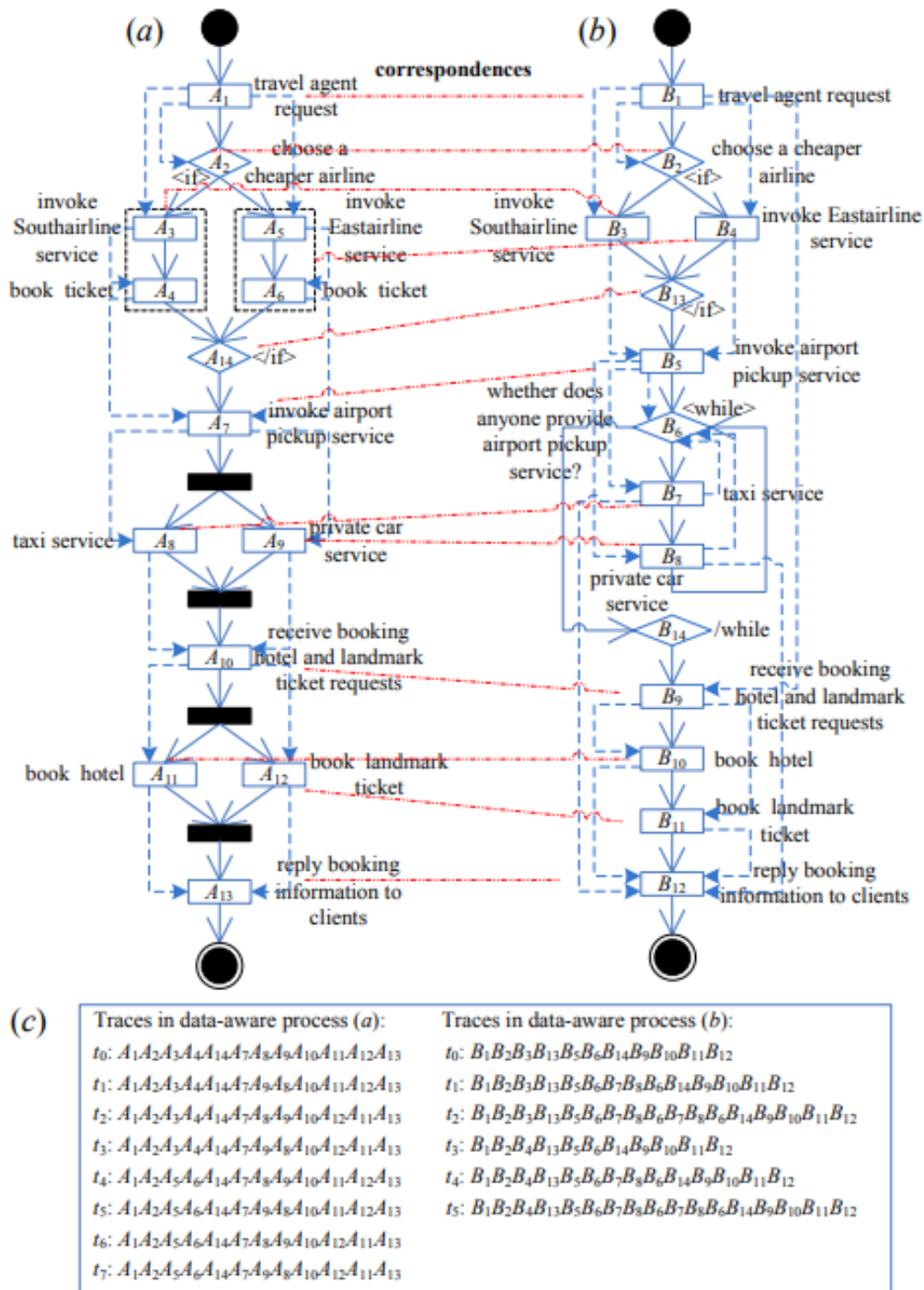
A partir de la importancia de incluir elementos organizacionales en el análisis e integración de procesos, es posible definir escenarios de colaboración, con capacidad de reusabilidad, con el fin de adoptar soluciones previas y así poder fusionar dichas soluciones.

Sebu & Ciocarlie (2015) proponen una aproximación a la integración basada en la representación de los procesos por medio de grafos dirigidos. La solución se basa en la propuesta de un algoritmo que permite computar cada nodo y determinar su relación semántica con otros nodos. Este trabajo presenta un aporte significativo, pues considera el estudio de interacciones entre actores para el beneficio de la integración.

Zhang et al. (2018) presentan un enfoque de alineación de modelos de procesos a partir del análisis de sus bitácoras de ejecución. Para ello se hace uso de una representación basada en grafos de restricciones, con el fin de facilitar la identificación de inconsistencias en la estructura y comportamiento.

Lo anterior, hace parte de la base de un procedimiento de comparación a partir de las ejecuciones de los modelos de procesos. En la Figura 3-3 se observa el registro (*trace*) de ejecución de dos procesos, que sirven para la identificación de correspondencia en el uso de los datos.

Figura 3-3: Alineación de modelos de procesos a partir de registro de ejecuciones.



Fuente: (Zhang et al., 2018)

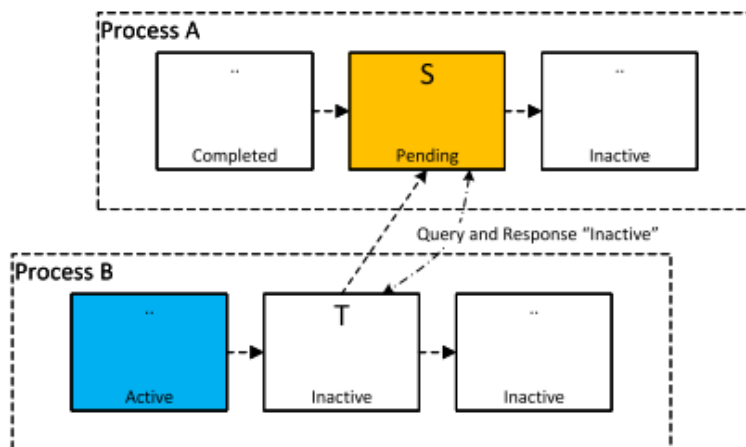
Continuando con aproximaciones de integración basadas en comportamientos globales, Zemni et al. (2016) proponen una solución metodológica basada en análisis de matrices de

adyacencia y a partir de procesos de alineación procesos optimizados a partir de la reducción de rutas innecesarias.

Por último y en el mismo orden de ideas, Steinau et al. (2017) presentan un mecanismo de integración, enfocado en los contenidos de los mensajes y sus características, a partir de ello, se obtiene una visión holística del comportamiento del sistema que permita definir mecanismos de coordinación entre procesos.

La Figura 3-4 presenta la solución propuesta donde se resalta la dependencia entre actividades de acuerdo con sus estados de activación.

Figura 3-4: Integración de Procesos de Negocio basada en dependencias semánticas.



Fuente: (Steinau et al., 2017)

3.2.2 Análisis crítico del segundo enfoque

A continuación, se presenta un análisis crítico, basado en fortalezas y limitaciones, de los trabajos relacionados del segundo enfoque de integración, el cual está basado en conversaciones entre procesos.

Fortalezas

- Todos los trabajos relacionados consideran una plantilla para la integración, pues al considerar intercambio de mensajes, por defecto se debe seguir un protocolo de comunicación o de intercambio.
- La mayoría de las aproximaciones realiza un razonamiento de tipo inteligente, centrado especialmente en el análisis de los grafos de representación y los contenidos semánticos. Sin embargo, los razonamientos, se centran en los flujos de comunicación y no en la interacción con el ambiente.
- Cuando se modelan los roles que intervienen en las conversaciones, se otorga la posibilidad de definir escenarios, que permitan la validación de variables específicas, como los las relacionadas con la interacción entre personas. La mayoría de los trabajos definen escenarios organizacionales (personas), pero pocos consideran los aspectos operativos (flujo) del proceso. Sin embargo, todos los trabajos presentan validaciones por medio de escenarios básicos de ejecución en sus dominios de aplicación.

Limitaciones

- Aunque la mayoría de los trabajos incluyen protocolos, estos no logran captar la información relacionada con las fases de la integración, recursos asociados, restricciones y roles que ejecuten dichas fases, así mismo, la sensibilidad al contexto puede verse afectada.
- Con base en la limitación anterior, la exploración permitió identificar que estos trabajos, no atienden el problema de la información contextual ni la adaptación de procesos, esto se debe a su interés en la representación abstracta de una interacción global, más que el detalle de cada uno de sus elementos.
- Es poco el uso de aproximaciones semánticas que apoyen la integración, solo un trabajo presenta su uso para el procedimiento de alineación previa. Así mismo, otros trabajos hacen uso de ontologías, pero lo emplean exclusivamente para el contenido de mensajes.

- Al igual que los trabajos del enfoque anterior, muy pocos trabajos tienen en cuenta las variantes de procesos y la gestión de cambios hacia dichas variantes. La razón se debe a que la prioridad del enfoque basado en conversaciones es garantizar un comportamiento global basado en la coordinación del intercambio de mensajes.

3.3 Tercer enfoque: integración basada en Consolidación

La consolidación está directamente relacionada con la fusión de 2 o más modelos de procesos, con el fin de ser reemplazados por el nuevo proceso generado. La integración entonces consiste en identificar procesos similares y generar una sola estructura a partir del análisis de distintas variables, para luego validar la correspondencia de las soluciones.

3.3.1 Trabajos relacionados

Bucchiarone et al. (2011) presentan un enfoque sensible al contexto, a partir de información en tiempo de ejecución, por lo tanto, a partir del análisis del flujo de los procesos, se genera una capa abstracta de integración basada en servicios, con el fin de llevar a cabo los objetivos de negocio, permitiendo una adaptación temporal.

La Rosa et al. (2013) presentan un método de integración basado en análisis de estructuras de variantes de procesos ubicadas en colecciones, el cual inicialmente identifica fragmentos similares entre variantes, para ser consideradas en la integración. Posteriormente genera un nuevo modelo abstracto el cual luego de verificaciones de ejecución frente a la colección, puede ser considerado reemplazo de sus predecesores.

Ekanayake (2014) presenta en su tesis doctoral, un método de integración centrado en el análisis de colecciones de variantes, con el fin de consolidar aquellas relacionadas con un solo dominio y así liberar recursos en el repositorio, aportando en la eliminación de flujos redundantes, debido a la desactualización de algunas variantes.

Aprovechando las ventajas que ofrece integrar varios procesos en una sola versión, Fdhila et al. (2015) presentan una aproximación metodológica para la integración a partir del uso de algoritmos de propagación de cambios. Básicamente se realiza una integración inicial,

para analizar los efectos de una propagación de cambios de manera global, todo ello con el fin de identificar fragmentos de los procesos que son inutilizables.

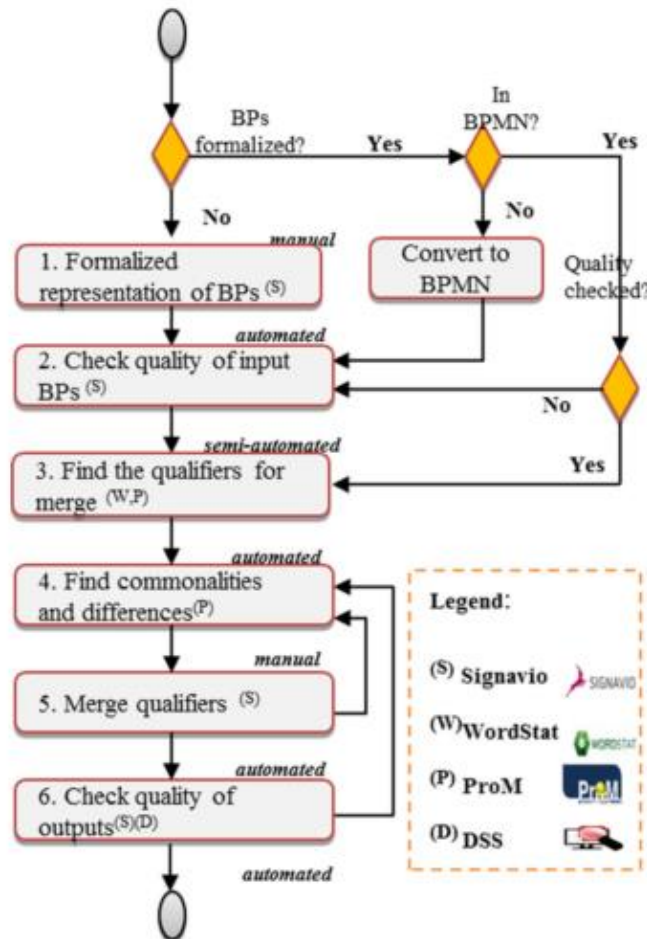
Otro trabajo similar es el realizado por Rehse et al. (2017) donde se presenta una aproximación a la integración empleando una estructura basada en grafos dirigidos. A partir del análisis de rutas de solución, se simulan posibles situaciones y eventos, con el fin de identificar incoherencias en los modelos frente a distintos dominios y casos de estudio.

Se evidencia con los dos anteriores trabajos, la necesidad de alinear las estructuras de los procesos previo a su integración, no obstante, se debe considerar la no inclusión de algunos procesos con base en su dominio y contexto situacional asociado.

Malekan et al. (2018) plantean un trabajo interesante relacionado con un método para la consolidación de procesos, basado en técnicas de similitud implementadas en un algoritmo de fusión de procesos. La similitud se apoya en técnicas de agrupamiento para la selección de procesos con estructuras similares, posteriormente se fusionan los procesos seleccionados. No obstante, el trabajo no considera el contexto de cada proceso, suponiendo comportamientos similares por pertenecer a un dominio.

La Figura 3-5 presenta un diagrama del método propuesto por Malekan et al. (2018), el cual se compone de seis actividades. Cabe resaltar el uso de herramientas informáticas para la automatización y validación, así mismo en un pre-procesamiento de los procesos con el fin de ajustar su estructura a una formalización definida.

Figura 3-5: Método de integración de procesos propuesto en (Malekan et al., 2018).



Fuente: (Malekan et al., 2018).

El uso de variantes como justificación para la consolidación de procesos, es necesaria cuando se busca reducir el número de dichas variantes. Ilahi et al. (2017) proponen una solución que permite reducir la proliferación de variantes mediante la consolidación y rediseño de un nuevo modelo de referencia, empleando técnicas de similitud para la reducción de elementos.

3.3.2 Análisis crítico del tercer enfoque

A continuación, se presenta un análisis crítico, basado en fortalezas y limitaciones, de los trabajos relacionados del tercer enfoque de integración, el cual está basado en la consolidación de procesos para la generación de nuevos modelos de procesos.

Fortalezas

- Debido a que este enfoque permite generar un nuevo modelo de proceso, todos los trabajos relacionados, consideran una manera de *cómo hacerlo*, ya sea que se haga con análisis de grafos, gestión de colecciones de modelos de procesos o por medio de protocolos de conversación, se aborda una aproximación metódica, sin embargo, la falta de robustez de los métodos evita capturar más información, sobre todo de tipo contextual.
- Todos los trabajos gestionan información que se asocia a las colecciones de variantes y cambios. Se debe a que, la generación de un nuevo modelo se realiza a partir de varios antecesores, así mismo, las variantes son generadas desde un modelo de referencia, del cual provienen los cambios. Lo anterior brinda coherencia a la solución.
- La mayoría de los trabajos definen escenarios, en su mayoría de tipo organizacional (roles y funciones) y otros trabajos aunque también definen escenarios, éstos están asociados a sus dominios de ejecución. La razón de esta fortaleza se centra en la necesidad de definir la información a consolidar, es por ello por lo que se define un alcance por medio de escenarios de ejecución.

Limitaciones

- Ninguno de los trabajos considera una representación semántica de los procesos, solo se centran en su estructura y representación por medio de grafos. La razón está en que se evita por ahora la comprensión semántica del proceso, que conllevaría a un análisis complejo de su comportamiento, visto como un individuo.
- Cabe resaltar la presencia de trabajos con propuestas metodológicas orientadas a la integración, sin embargo, existe dependencia en la utilización de artefactos que exigen algunas herramientas de automatización, lo que restringe su uso en diferentes dominios.

- El razonamiento inteligente es escaso, pues el interés está en la generación de una nueva estructura (modelo de proceso) que reemplace las anteriores, sin considerar que las decisiones que soportan la selección de las estructuras a integrar.
- La anterior limitación es coherente con la falta de gestión del contexto y por ende soporte a la adaptación. Se considera que la adaptación es implícita al momento de generar un nuevo modelo de proceso, sin embargo, la adaptación debe estar relacionada también con el método de integración en sí.

3.4 Comparación de trabajos relacionados

Esta sección consolida la información de los enfoques para la integración de procesos mediante la comparación de los trabajos relacionados. La comparación tiene en cuenta los siguientes criterios:

- **Definición de método de integración:** Se busca determinar si se plantea un enfoque metodológico basado en fases o etapas. Así mismo, se considera un método robusto cuando se clarifican los artefactos y objetivos que se persiguen en cada una de esas etapas o fases.
- **Razonamiento inteligente:** Dicho razonamiento está centrado en la manera en que se razona en cada una de las fases de la integración. Se puede emplear reglas de inferencia sintáctica o semántica. El razonamiento es indispensable debido a la toma de decisiones presente en la integración.
- **Representación semántica:** En vista que se maneja la información contextual y del dominio, es necesario tener lineamientos semánticos para el intercambio de información contextual.
- **Sensibilidad y gestión del contexto:** Este criterio busca determinar si la solución es capaz de capturar la información del contexto, así mismo que pueda procesarla y realizar acciones a partir de toma de decisiones.

- Capacidad de adaptación: Este criterio trabaja de la mano con el criterio anterior, pues al ser sensible al contexto se otorga la capacidad de poder adaptarse para soportar las situaciones contextuales que se presentan.
- Definición de escenarios: Los escenarios están ligados directamente con la información organizacional y operacional de los procesos. La primera se relaciona con el organigrama, garantizando consistencia entre roles, por su parte la información operacional tiene en cuenta los aspectos de implementación, tales como: integración de datos, de vistas y lógica de negocio.
- Gestión de variantes: Este criterio determina si una solución emplea el concepto de variante de proceso de referencia como una instancia modificada en estructura. La gestión indica aquellas acciones de almacenamiento, búsqueda, recuperación y mantenimiento.
- Gestión de cambios: Una solución se enfoca en este criterio, cuando de manera explícita indica que a las colecciones de variantes se le aplican (propagan) cambios desde un proceso de referencia. Así mismo, estos cambios deben ser representados y monitoreados para clarificar su impacto.

Los valores posibles para cada uno de los criterios son: El símbolo (+), cuando el trabajo relacionado se enfoca fuertemente en ese criterio, el símbolo (-) cuando el trabajo no considera el criterio y el símbolo (+-) en el caso que el criterio es parcialmente tenido en cuenta o se incluye de manera implícita conforme al tipo de solución. Los símbolos se complementan con colores asociados a cada uno de ellos, permitiendo simular un mapa de calor de los aportes de los trabajos.

En la Tabla 3-1 se consolida la información; cada celda representa el valor tomado por el criterio (columnas) versus cada uno de los trabajos. Las convenciones para cada criterio son: Método=Met, Razonamiento Inteligente=Raz, Representación Semántica=Rep, Contexto=Ctx, Adaptación= Adp, Escenarios=Esc, Variantes=Vrt y Cambios=Cmb.

La información de la tabla se presenta cronológicamente por enfoque, iniciando con el enfoque basado en intercambio de información, luego el basado en conversaciones y por último el de consolidación.

A partir de la comparación realizada se puede concluir las siguientes limitaciones generales, que clarifican los aportes de la tesis de investigación:

- Los trabajos han enfocado sus esfuerzos a proponer el *cómo se debe hacer* una integración, teniendo en cuenta protocolos de intercambio de información, plantillas de conversaciones y en algunos enfoques basados en fases secuenciales, pero que manejan información asociada a un solo escenario de integración y no consideran o adaptan sus fases al contexto donde se ejecutan que puede llevar a realizar una selección errónea de los elementos.
- El razonamiento inteligente ha tenido su aplicación en los enfoques conversacionales, centrándose en la coordinación, colaboración y cooperación entre las partes, pero a diferencia del enfoque de consolidación en donde se presentan pocos trabajos, pues las soluciones han centrado su atención en realizar esfuerzos a determinar y seleccionar los elementos apropiados.
- La gestión de cambios es un área poco abordada, así mismo el uso de variantes y acciones de mantenimiento. Cabe resaltar que lo anterior es necesario para una integración de procesos, ya que cada una de las variantes se ejecuta dentro de un dominio y contexto.

Con base en lo expuesto anteriormente, la presente tesis de doctorado aborda las limitaciones encontradas en los trabajos relacionados, sintetizadas en la Tabla 3.1 y de esta forma ataca el problema de la BPI mediante la propuesta de un método (Met) sensible y adaptado al contexto (Ctx, Adp) y con capacidad de razonamiento inteligente (Raz).

Cabe señalar que el Razonamiento Inteligente se realiza sobre procesos y variantes (Vrt); teniendo en cuenta la gestión de cambios (Cmb). Así mismo, el método considera los escenarios asociados (Esc), con el fin de garantizar la selección apropiada de variantes de procesos a ser integradas.

Tabla 3-1: Comparación de trabajos relacionados en los enfoques de BPI

Trabajos relacionados	Criterios							
	Met	Raz	Rep	Ctx	Adp	Esc	Vrt	Cmb
Enfoque basado en intercambio de información								
(Chen & Nunez, 2010)	-	-	-	+-	+	+-	-	-
(Buijs et al., 2011)	+-	+-	-	+-	-	+-	+	-
(Schubert & Legner, 2011)	+-	-	+-	+-	+-	+	-	-
(Schonewille & Bouwman, 2012)	+-	-	+-	+	+-	+-	-	-
(Picón et al., 2014)	+-	-	-	+-	-	+	-	-
(Yongsiriwit et al., 2016)	-	+-	+	+	+-	-	+-	-
(Schmidt et al., 2017)	+-	-	+-	-	-	+	-	-
Enfoque basado en conversaciones								
(Jung, 2009)	+-	+-	+	-	-	+-	-	-
(Kurniawan et al., 2011)	-	+-	+	-	-	-	+-	+-
(Skopik et al., 2010)	+-	-	-	+	+-	+-	-	-
(Dahman et al., 2013)	+-	+-	-	+-	-	+-	-	+-
(Sebu & Ciocarlie, 2015)	+-	+-	-	-	+	+-	-	-
(Zemni et al., 2016)	+	+-	-	-	+-	+-	-	-
(Steinau et al., 2017)	-	+-	-	-	-	-	-	-
(Zhang et al., 2018)	+-	+-	+		+-			
Enfoque basado en consolidación de procesos								
(Bucchiarone et al., 2011)	+-	+-	-	+	+	+-	+	+-
(La Rosa et al., 2013)	+-	-	-	-	-	+-	+	-
(Ekanayake, 2014)	+-	-	+-	-	-	+	+-	+-
(Fdhila et al., 2015)	+-	-	-	-	-	+-	+-	+-
(Rehse et al., 2017)	+-	+-	-	-	-	-	+-	+-
(Ilahi et al., 2017)	+-	+-	-	-	+-	+-	+	-
(Malejan et al., 2018)	+	+-	+	+-	-	-	+-	+-

3.5 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se revisaron de forma crítica los trabajos relacionados con la investigación, los cuales se agrupan en tres enfoques de integración a saber: (1) basado en intercambio de información, (2) basado en conversaciones y (3) basado en consolidación de procesos. Para cada uno de los enfoques se presenta un análisis crítico basado en fortalezas y limitaciones, que sirven para clarificar los aportes de la tesis.

Se evidencia la falta de contribuciones en la mayoría de los criterios de comparación utilizados y que se evidencia en la Tabla 3.1. De esta forma, hace falta proponer métodos completos y robustos para guiar la BPI, donde sea posible evaluar los niveles de

información con base en escenarios y situaciones contextuales del dominio, lo que facilita un razonamiento inteligente sobre los elementos asociados a la BPI.

Cabe señalar que, aunque el razonamiento empleado en los trabajos relacionados pasa por el uso de aproximaciones semánticas utilizadas para tareas de alineación y representación, no se evidencian aportes a la semántica del proceso de integración. De igual forma, el uso de técnicas de IA, es un poco escueto, debido a que las pocas soluciones encontradas en la literatura se centran en problemas asociados a la coordinación y colaboración a partir de intercambio de mensajes.

4. Método Propuesto para la integración de procesos de negocio

Este capítulo presenta el método propuesto para la integración de procesos de negocio, sensible y adaptado al contexto. El método permite seleccionar los procesos apropiados para una integración, resaltando mediante alertas contextuales, aquellos que pueden tener un mal rendimiento antes de realizar una posible propagación de cambios desde un modelo de proceso de referencia.

Inicialmente se describen sus elementos, sus fases y una formalización basada en lógica de predicados, apropiada para su implementación, la cual emplea mecanismos de inferencia basado en reglas. Luego, se presenta el modelo de contexto asociado al método de integración, compuesto por una ontología, una estructura y la dinámica de este.

Por último, se presenta el sistema inteligente de razonamiento y adaptación al contexto, el cual se apoya de la teoría de verificación de restricciones y los sistemas multi-agentes, para la sensibilidad y adaptación al contexto respectivamente.

4.1 Características del método

El método propuesto se caracteriza por ser inteligente, sensible y adaptado al contexto, estas son:

- **Sensible al contexto:** El método de integración por medio de la definición de niveles de información, permite analizar situaciones que se presenten en sus fases. La información recolectada puede activar las reglas de razonamiento sobre el contexto, indicándole al método de integración que debe repetir de nuevo la ejecución de una de sus fases.

Para evaluar si un sistema es sensible o no al contexto, se debe cuantificar las situaciones que identifica y relaciona con la base de conocimientos. De esta manera no solo se mide su capacidad de sentir sino la capacidad de razonar sobre el contexto.

- **Adaptado al contexto:** Un sistema adaptado al contexto es capaz de demostrar que durante sus distintas ejecuciones ofrece distintos resultados, que precisamente han sido adaptados a partir de la información contextual recolectada.

Un sistema adaptado al contexto es aquel que genera más opciones de solución es más adaptado al contexto. La evaluación radica en medir la relación entre resultados generados versus situaciones contextuales identificadas.

- **Método inteligente:** El método de integración es inteligente ya que razona sobre las situaciones identificadas en los distintos niveles de información. El razonamiento se en los resultados de cada una de las fases. Por ejemplo, en la búsqueda y recuperación, que puede mejorar los procesos recuperados, a medida que incluye información contextual.

4.2 Método de Integración

En esta sección se describe en detalle el método propuesto para la integración de procesos, el cual se compone de los elementos y sus relaciones, las fases del método y el flujo entre las fases y, por último, una formalización de la integración en términos de los elementos y fases identificados.

4.2.1 Elementos del método

Esta sección describe los elementos esenciales para la estructura del método. La descripción incluye las funciones de cada elemento y la interacciones con sus similares.

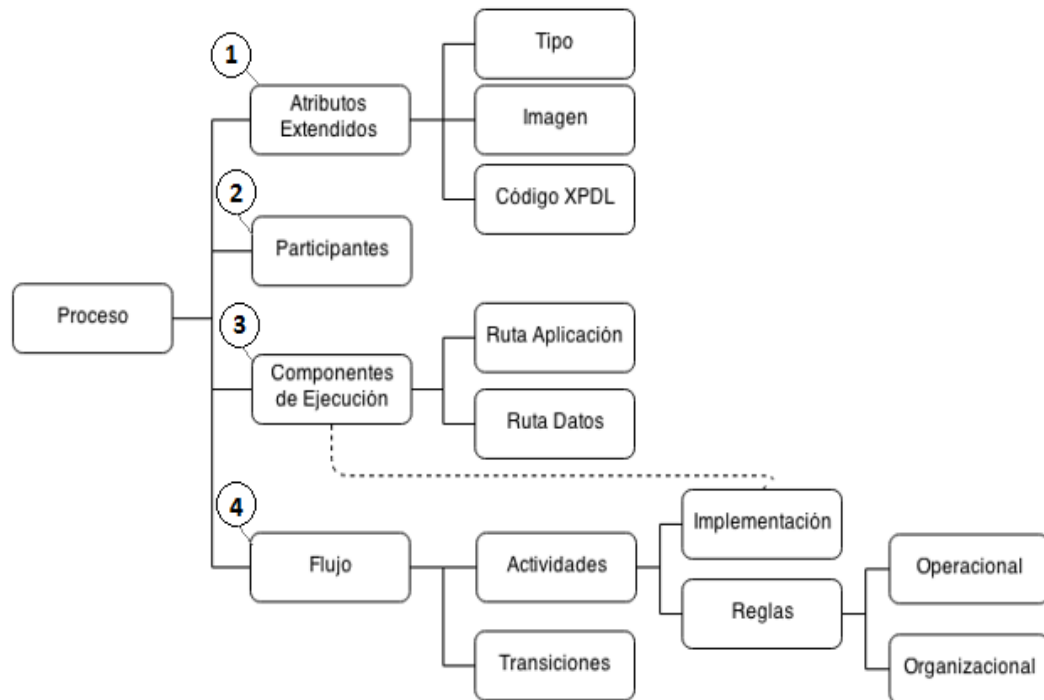
a) Elemento 1 - Modelo de proceso: El método propone una estructura de representación de modelos de procesos basada en el esquema propuesto por BPMN. A partir de ello se proponen nuevos elementos que se ajusten a los requerimientos del método. Cabe señalar que existen varias aproximaciones para el meta-modelamiento de procesos. Tales representaciones justifican su uso en diversos dominios, sin embargo, BPMN presenta ventajas respecto a otras formalizaciones (Greta et al., 2017).

El modelo de procesos se representa a través de una *plantilla* conformada por cuatro componentes a saber: atributos extendidos, participantes, componentes de ejecución y flujo del proceso. Dichos componentes deben ser definidos para cada proceso que se

represente, eso quiere decir que todos los elementos son indispensables y por tanto deben aparecer. El método propuesto hace uso de este elemento para representar el proceso de referencia, las variantes de dicho proceso y el objetivo de integración. Así mismo, el proceso generado a partir de la integración también está basado en la plantilla definida.

En la Figura 4-1 contiene la estructura propuesta para el modelo de proceso, siendo sus elementos principales el flujo y los participantes. Los atributos extendidos relacionan información externa del proceso, como por ejemplo su código fuente y la imagen de su diagrama. Existen reglas asociadas a las actividades de flujo, donde su función principal es llevar a cabo de manera óptima la ejecución del proceso, para cada una de las instancias posibles.

Figura 4-1: Estructura conceptual propuesta para el modelo de proceso.



Fuente: Autoría propia.

- **Componente 1 - Atributos extendidos:** Permite la inclusión de atributos adicionales en la descripción de un modelo de proceso. La información básica del modelo de proceso comprende nombre, identificador y modelo de referencia asociado. Un atributo

extendido hace referencia a la ubicación de archivos de ejecución para las actividades, ubicación de códigos fuente o de sistemas externos de ejecución.

Tanto las actividades como las transiciones se pueden complementar con los atributos extendidos, ya sean aquellos definidos de manera general para el proceso, o los que se definen exclusivamente para una actividad, un participante o una transición.

- **Componente 2 - Participantes:** Describe los actores del proceso, los cuales pueden tener asociación con los atributos extendidos. Los participantes están asociados con una o varias actividades del proceso. Tanto a participantes como actividades, es posible asociarle restricciones, por medio de atributos extendidos, haciendo uso de la propiedad *tipo*.
- **Componente 3 - Componentes de ejecución:** Hacen referencia a aquellos sistemas que ejecutan las actividades del proceso, como por ejemplo un servicio web o tal vez un sistema externo propio de la organización. Los componentes de ejecución representan un medio para el control de los recursos asociados a cada una de las actividades, por ello son necesarios dentro de la descripción del proceso.
- **Componente 4 - Flujo del proceso:** El flujo del proceso está compuesto por actividades y transiciones. Como actividades se ha considerado las estructuras de control (AND, OR, JOIN); cada transición tiene una actividad origen y una actividad destino.

Las reglas se clasifican en *organizacionales* y *operacionales*. Las primeras controlan información relacionada con el comportamiento del proceso, es decir, la realización de sus actividades, mientras las reglas operacionales, controlan que los ambientes y entornos puedan dar soporte a la ejecución del proceso.

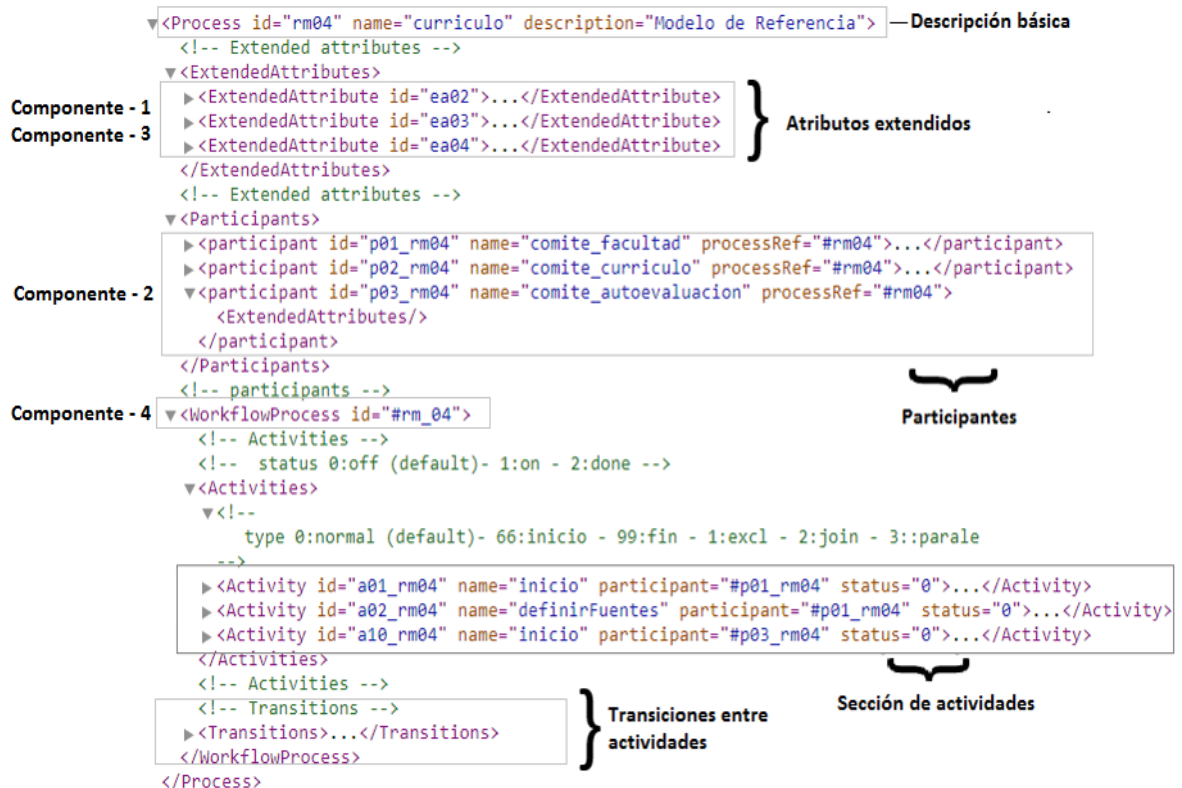
La Figura 4-2 presenta la codificación en sintaxis XPDL del *modelo de proceso* propuesto para el desarrollo de esta tesis de doctorado. Los atributos extendidos se describen en la cabecera del documento XML.

La descripción al ser auto-descrita, puede hacer referencia a dichos atributos, con el fin de asociar elementos de ejecución a las actividades y de esta manera lograr una

automatización y ejecución del proceso por medio de arquitecturas orientadas a servicios web.

Cabe resaltar, que las aproximaciones semánticas para la representación de procesos de negocio son poco adoptadas, debido a la estandarización del concepto y la variedad de esquemas que lo soportan (Ejemplo: XPD, BPEL, YAML, entre otros); sin embargo, el enfoque semántico, está tomando auge nuevamente, ya que es necesario definir patrones generales que garanticen el intercambio de información entre procesos descritos en varias notaciones (Gassen et al., 2017).

Figura 4-2: Estructura conceptual propuesta en sintaxis XPD.



Fuente: Autoría propia.

b) Elemento 2 - Proceso de referencia: Es un *modelo de proceso* del cual se instancian otros procesos; el *proceso de referencia* se caracteriza por su representación abstracta (i.e

sin valores concretos) asociado a un dominio específico. Cada nuevo proceso que adopte el *proceso de referencia*, queda asociado directamente al dominio correspondiente.

Si el nuevo proceso, no modifica su estructura para adoptar el proceso de referencia se considera una instancia normal, por el contrario (si se modifica la estructura) se habla de una variante del proceso de referencia.

c) Elemento 3 – Variante de proceso referencia: Una variante es un proceso modificado en su estructura; dicha modificación se genera durante la configuración inicial del proceso en una instancia específica o durante su ejecución en condiciones especiales. Básicamente una variante es una instancia de un proceso de referencia y está relacionada con un dominio y con situaciones, así mismo con restricciones de tipo organizacional y operacional (La Rosa et al., 2017).

Según Lassoued et al. (2016) la gestión de variantes se puede hacer de forma individual o colectiva; esta última justifica el uso de un método de integración de procesos, ya que permite la consolidación de un *modelo de proceso integrado* para la aplicación de cambios provenientes de un *proceso de referencia*.

Específicamente para las variantes se tienen los siguientes 2 tipos, así:

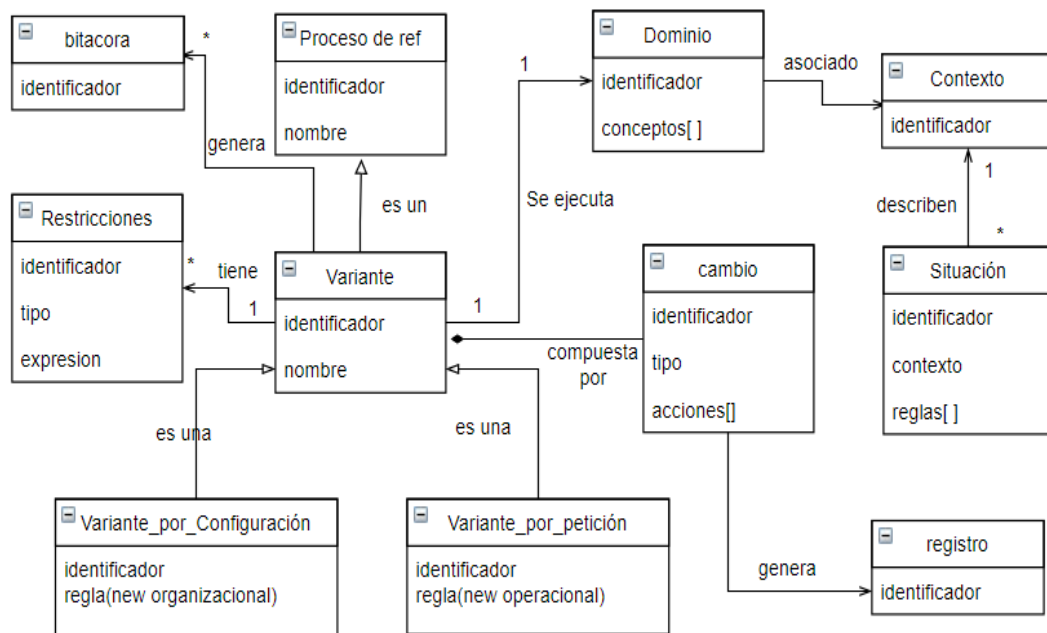
- **Variantes por configuración:** Estas variantes se caracterizan por que su origen del cambio estructural se dio de manera natural, debido a información detectada propia del dominio, como por ejemplo, ajuste a constantes relacionadas con impuestos financieros. Las variantes por configuración tienen en cuenta variables relacionadas con la lógica del negocio.
- **Variantes por petición:** El origen de cambio se origina por peticiones especiales de los clientes o actores del proceso. Un ejemplo es el caso que consiste en realizar una venta a un cliente corporativo, para lo cual la empresa solo está preparada para realizarlo con pequeñas y medianas empresa, por lo tanto, se requiere modificar la estructura del proceso, lo que conlleva a crear una variante por petición.

Con base en lo anterior, se propone una representación conceptual de una variante de proceso, soportada en una ontología; su desarrollo se basó en la metodología propuesta por Noy & McGuinness (2001) denominada *Ontology-101*.

En la Figura 4-3 se observa un diagrama de clases de la ontología propuesta. Las situaciones se relacionan directamente con la variante, sin embargo, dependen de la dinámica del dominio, pues a medida que se presenta o inhibe información, las situaciones reaccionan mediante la afectación del contexto.

Otro elemento esencial es la bitácora de cambios, la cual registra los eventos de creación de las variantes, así como los eventos de actualización y mantenimiento. Dicha bitácora, debe considerar la información contextual relacionada con cada uno de los eventos. Con lo anterior, es posible generar comparativos previos a procesos de BPI.

Figura 4-3: Propuesta de representación ontológica de una variante



Fuente: Autoría propia.

En la Tabla 4.1 se presentan algunos de los axiomas definidos para el razonamiento, validación o chequeo de inconsistencias en la ontología son los siguientes:

Tabla 4-1: Axiomas para chequeo de consistencias

Axioma	Representación	Descripción
Tipo de restricción asociada	$\text{pertenece}(\text{Dom}(?c)) \wedge ?\text{variante}(\text{configuracion}) \rightarrow \text{rest}(\text{org}) \leftarrow \text{true};$	Si concepto de dominio pertenece a una variante tipo configuración la restricción es de tipo organizacional.
Pertenencia de la situación a un dominio	$\text{Contexto}(\text{St}) \wedge \text{dominio}(\text{concepto}(\text{alertaCtx})) = \text{val}(\text{St}) \leftrightarrow \text{dominio}(\text{St})$	Si la situación de un contexto se relaciona con una alerta contextual asociada a un concepto del dominio, se valida que dicha situación se debe tener en cuenta en dicho dominio.
Variantes asociadas a reglas operacionales	$\text{Variantes}(x[]) :- \text{reglas}(\text{tipo}, \text{operacionales})$	El grupo de variantes recuperadas se puede filtrar por aquellos asociados a reglas operacionales.
Existencia de una situación en la bitácora	$\text{Bi}(\text{St}, \text{existe}(\text{St})) \leftrightarrow \text{variante}(\text{dom}(\text{St})) = \text{true}$	Una situación existe en una bitácora si y solo si el dominio de la variante soporta la situación.
Situaciones contextuales asociadas a la creación de una variante.	$\text{Sit}(x[]) :- \text{nueva_variante}(\text{tipo}, \text{eventos}) = \text{true}$	El grupo de situaciones recuperadas depende del proceso de creación de la nueva variante.

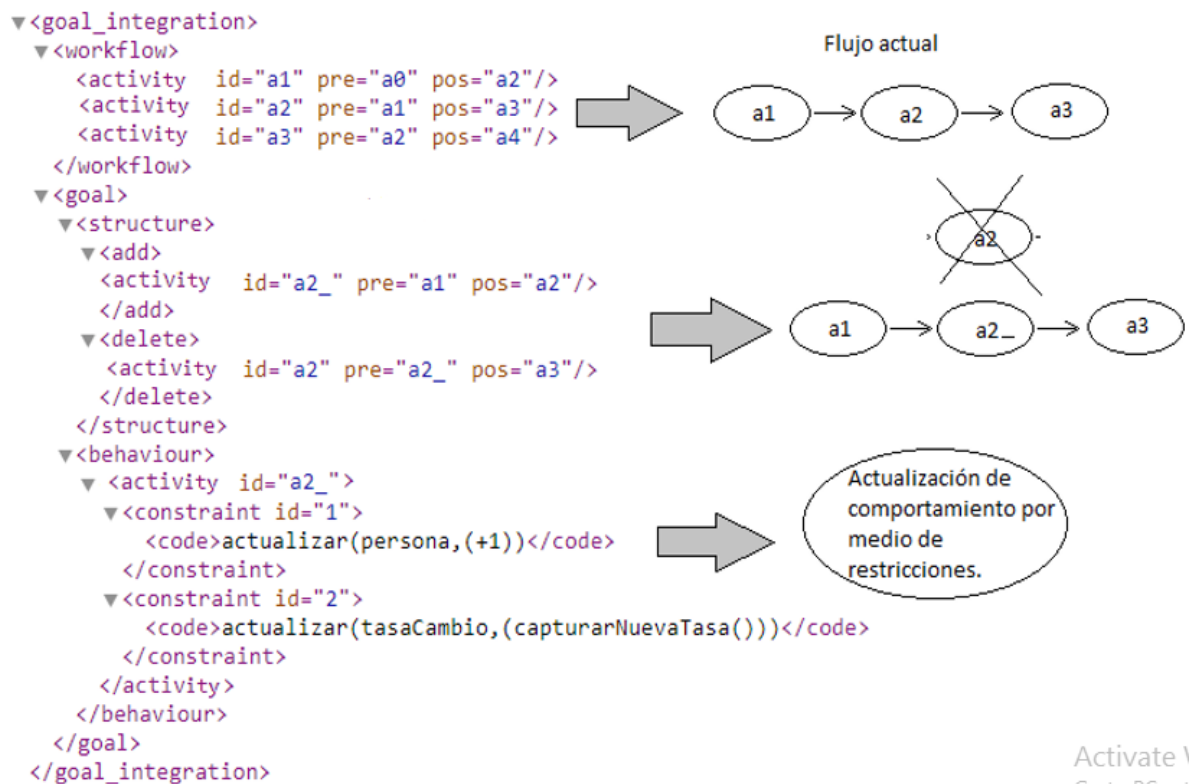
d) Elemento 4 – Objetivo de integración: Se define el objetivo de integración, como aquel *modelo de proceso* que necesita ser alcanzado. El método de integración básicamente compara las diferencias entre el objetivo de integración y el proceso de referencia.

Cabe señalar que el enfoque basado en objetivos permite la definición de una secuencia lógica de tareas a realizar, caracterizadas por pre y pos-condiciones, lo que otorga la facilidad de asociarles a las actividades del proceso; del mismo modo, las estructuras de control pueden ser representadas como objetivos parciales (Ghose et al., 2011), así como

el flujo de información del proceso permite generar puntos de chequeo según el uso de los datos asociados.

La Figura 4.4 presenta en lenguaje XML la estructura definida para el objetivo de integración. A modo de ejemplo en la parte derecha se observa el flujo del proceso actual $a1 \rightarrow a2 \rightarrow a3$ y se quiere llegar a un flujo $a1 \rightarrow a2_ \rightarrow a3$, lo que quiere decir que la actividad $a2$ se reemplaza por $a2_$ y se debe eliminar la actividad $a2$.

Figura 4-4: Propuesta de representación conceptual del objetivo de integración



Fuente: Autoría propia.

La estructura comprende la descripción del proceso actual y el objetivo que se quiere lograr, el cual se compone a su vez de una estructura y un comportamiento. La primera describe cambios desde el punto de vista de adición o eliminación de actividades, por su parte, el comportamiento (*<behaviour>*) describe cambios en las actividades a través de lógica de primer orden a partir de los datos y el dominio asociado a dicha actividad.

e) Elemento 5 – Procedimiento de comparación: A partir del uso de las métricas de similitud semántica y estructural se considera que, dos procesos tienen un alto grado de similitud, cuando los valores son iguales a 1 (probabilidad del 100%).

La comparación de procesos de negocio busca principalmente calcular el grado de proximidad entre dos o más modelos de procesos. Un grado de proximidad bajo indica que los modelos son poco similares entre sí, mientras una proximidad alta indica que los dos modelos tienen similitud sintáctica y semántica en un alto grado.

La Figura 4-5 presenta el pseudocódigo de la comparación propuesta, el cual inicia con la carga del objetivo de integración y el análisis de los cambios a realizar. Dichos cambios son los que deben aplicarse a las variantes asociadas al modelo de referencia. La recuperación de las variantes se realiza mediante técnicas de similitud sintáctica y semántica.

Figura 4-5: Procedimiento propuesto para la comparación de procesos

```

inicio():
    cargar_objetivo_integracion(ruta_destino);
    cambios=analizar_cambios(objetivo_integracion, proceso_ref);
    variantes[] = recuperar_variantes(dominio, proceso_ref);
    grupos[] = new grupos[2];

    comparacion():
        para_cada (v en variantes):
            similitud_sintactica(v[i], proceso_ref);
            similitud_semantica(v[i], proceso_ref);
            calcular_similitudTotal();
            grupos[i]= agrupar_ordenar(v[i]);
        fin_comparacion
    generar_rerpote(grupos[])
fin_inicio

```

Fuente: Autoría propia.

Explicación del algoritmo: El procedimiento `cargar_objetivo_integracion`, realiza una búsqueda en el repositorio de modelos de proceso, identificando el objetivo de integración y procesándolo, a partir de la información capturada se identifican los cambios que necesitan actualizarse. Posteriormente se genera una lista de variantes relacionadas con el objetivo de integración, el modelo de referencia y el dominio.

Complejidad del algoritmo: El algoritmo de comparación tiene un orden de complejidad $O(n^2)$ ya que por cada variante se debe realizar un análisis frente a otras variantes para determinar su grado de similitud. El rendimiento del algoritmo puede ser optimizado para que obtenga un orden de complejidad $O(n)$, a partir del rediseño de las sucesiones de los ciclos.

El procedimiento de comparación aplica la similitud semántica y sintáctica a cada una de las variantes recuperadas frente a su modelo de referencia. Como resultado se obtiene una priorización de variantes de acuerdo con su grado de proximidad. Existe una gran variedad de métricas asociadas a la similitud entre modelos de procesos (Dijkman et al. 2011), sin embargo, para la presente tesis se emplearon las siguientes:

Similitud Sintáctica: Evalúa la estructura del proceso a partir de los datos de sus actividades, participantes, reglas y eventos. Algunos atributos que deben ser tenidos en cuenta en la comparación son nombre, número y dominio asociado. Las reglas pueden estar en una o varias actividades, así mismo pueden definirse reglas generalizadas.

Para el caso de los eventos, se determina el número y su tipo; con ello es posible asociar la creación de una variante a un grupo de eventos que le dieron origen. Adicionalmente, estas situaciones de creación se asocian a un contexto y dominio, así es posible evaluar de manera única dicha variante ante posibles cambios futuros.

Los posibles valores en la evaluación de cada uno de sus atributos, es de entre 0.0 y 1.0. En la Tabla 4-2 se condensan los valores. Las columnas indican las situaciones posibles de comparación entre un proceso **A** y un proceso **B**, mientras las filas, indican cada uno de los elementos a evaluar.

Por su parte, cada celda que intersecta las anteriores, indica el intervalo posible de valoración. Las convenciones para la Tabla 4.1 son: Actividades=(a), Participantes=(p), Transiciones=(t) Reglas=(r) y Eventos=(e).

Cabe aclarar que el valor exacto está determinado por el número de características que diferencian los procesos, esto quiere decir que, aunque dos procesos sean diferentes, su valor puede ser diferente de 1.0, así por ejemplo un 0.7 indica que los procesos tienen un grado **alto** de diferencia, pero no un grado **muy alto**. Este valor de grado de similitud o proximidad se maneja a partir de promedios ponderados.

Tabla 4-2: Rango de valores para la similitud sintáctica

Elementos	Posibles situaciones			
	A == B	A ≠ B	A > B	A < B
(a)	((0.0,1.0,a _i))	([0.0,1.0],a _i)	([0.0,1.0],a _i)	([0.0,1.0],a _i)
(p)	((0.0,1.0,p _i))	([0.0,1.0],p _i)	([0.0,1.0],p _i)	([0.0,1.0],p _i)
(t)	((0.0,1.0,t _i))	([0.0,1.0],t _i)	([0.0,1.0],t _i)	([0.0,1.0],t _i)
(r)	((0.0,1.0,r _i))	([0.0,1.0],r _i)	([0.0,1.0],r _i)	([0.0,1.0],r _i)
(r x a)	((0.0,1.0))	([0.0,1.0])	([0.0,1.0])	([0.0,1.0])
(e)	((0.0,1.0,e _i))	([0.0,1.0],e _i)	([0.0,1.0],e _i)	([0.0,1.0],e _i)

Similitud Semántica: Con esta comparación, se busca determinar qué tanto se parece conceptualmente un proceso a otro. Al igual que la similitud estructural, su análisis usa las actividades, participantes, reglas y eventos como elementos de comparación, sin embargo, los atributos de valoración son: dominios, contexto histórico, contexto específico, cohesión y complejidad del proceso a partir de sus actividades y nombres de elementos.

La Tabla 4-3 presenta los posibles valores que se adoptan dependiendo de la situación, para el caso de igualdad en los procesos, indica el valor seguido de las actividades que componen la igualdad, ya que existen actividades sintácticamente iguales, pero que pertenecen a dominios diferentes, por ejemplo: evaluar empleado, puede cambiar de un dominio público a uno privado.

Las convenciones adoptadas para los elementos son: Actividades=(a), Participantes=(p), Reglas=(r) y Eventos=(e).

Tabla 4-3: Rango de valores para la similitud semántica

Elementos	Posibles situaciones			
	A == B	A ≠ B	A > B	A < B
(a)	((0.0,1.0),{act})	([0.0,1.0],{act})	([0.0,1.0],{act})	([0.0,1.0],{act})
(p)	((0.0,1.0),{par})	([0.0,1.0],{par})	([0.0,1.0],{par})	([0.0,1.0],{par})
(r)	((0.0,1.0),{(r _i ,tipo _i)} {})	((0.0,1.0),{(r _i ,tipo _i)} {})	((0.0,1.0),{(r _i ,tipo _i)} {})	((0.0,1.0),{(r _i ,tipo _i)} {})

(e)	$((0.0, 1.0), \{(e_i, \text{tipo}_i)\})$	$((0.0, 1.0), \{(e_i, \text{tipo}_i)\})$	$((0.0, 1.0), \{(e_i, \text{tipo}_i)\})$	$((0.0, 1.0), \{(e_i, \text{tipo}_i)\})$
-----	--	--	--	--

Similitud Total: Su valor es la sumatoria de los valores obtenidos en la similitud sintáctica y similitud semántica. La similitud total está expresada por $ST = \text{valor_atributos}(Sim_Sin) + \text{valor_atributos}(Sim_Sem)$.

Donde Sim_Sin (Similitud Sintáctica) está dada por la sumatoria de valores de cada uno de los atributos, siendo $Sim_Sin = \sum \text{valor_atributos}(estructura)$ y Sim_Sem (Similitud Semántica) está representada por $Sim_Sem = \sum \text{valor_atributos}(comportamiento)$.

Agrupamiento: Una vez obtenido el valor de la similitud total, las variantes se agrupan a partir de los valores de dicha similitud, apoyado por valores de rendimiento de los procesos y la sensibilidad al contexto.

El procedimiento de agrupación se trabaja con los valores promedios de los centros de agrupamiento. Adicionalmente, se aplica un análisis basado en el contexto y las situaciones asociadas al dominio.

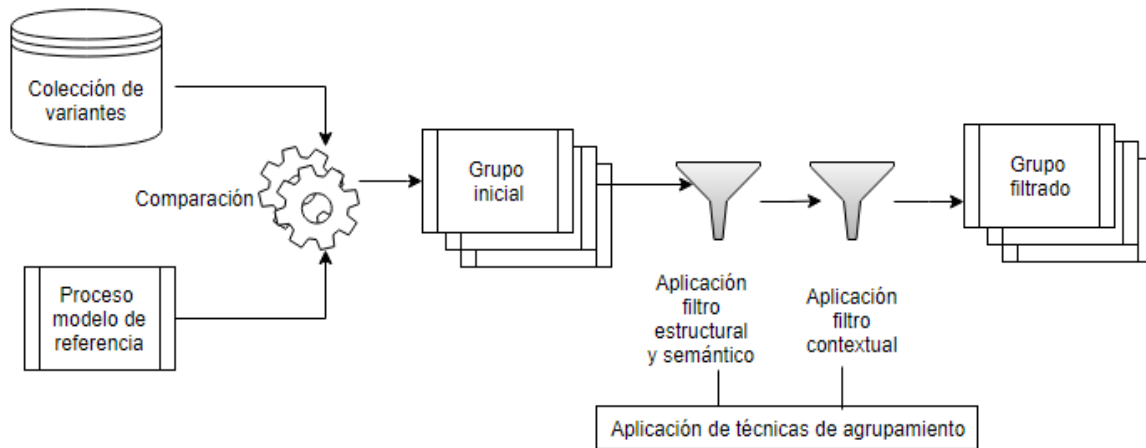
El número de grupos definidos son 2, “seleccionables” y “no seleccionables”. A partir de estos 2 centros los modelos de procesos son agrupados con base en los resultados obtenidos mediante su similitud. Tanto la similitud semántica como la similitud estructural, definen el grado de proximidad del modelo de proceso respecto a valor del centro definido. El valor del centroide se obtiene a partir de los datos obtenidos del modelo de referencia, relacionados con su estructura y comportamiento.

Las iteraciones del algoritmo de agrupamiento están dadas por un máximo de 3. Cabe aclarar que se supone que para la implementación, se ejecuten cambios en el contexto a partir de la primera iteración, por ello es suficiente máximo 2 iteraciones más para identificar cambios en el comportamiento del proceso.

Los centroides de cada grupo no se definen de forma aleatoria más bien se definen por medio de una heurística que tiene en cuenta la similitud entre los datos provenientes de los modelos de BP.

La Figura 4-6 presenta el esquema general del uso de agrupamiento para la integración de procesos; básicamente se comporta como un filtro de elementos de los grupos de variantes definidos.

Figura 4-6: Técnicas de agrupamiento y su aplicación en la BPI



Fuente: Autoría propia.

4.2.2 Interacción de los elementos del método

Cada uno de los elementos previamente definidos interactúa con otros similares. Tal es el caso del *objetivo de integración* y el *modelo de proceso de referencia*, donde inicialmente se detectan las diferencias entre ellos que permita posteriormente recuperar las variantes que soporten dichos cambios.

La recuperación de variantes se basa en la aplicación de filtros contextuales sobre los resultados obtenidos, analizando el rendimiento a partir de la identificación de situaciones dependientes del contexto de ejecución del proceso. Como resultado final se integran aquellas variantes que soporten los cambios sugeridos, teniendo en cuenta su información situacional y de dominio.

4.1.3 Fases del método

El método propuesto busca que en cada una de las fases se tenga en cuenta información contextual relacionada con escenarios de integración. El método consta de fases

secuenciales con mecanismos de iteraciones, que permiten la adaptación del mismo a las situaciones que se presenten.

La Figura 4-7, presenta una vista general del método propuesto; se observa que, entre las dos primeras fases, es posible realizar iteraciones con el fin de obtener resultados adaptables al contexto, así como entre las demás fases entre sí.

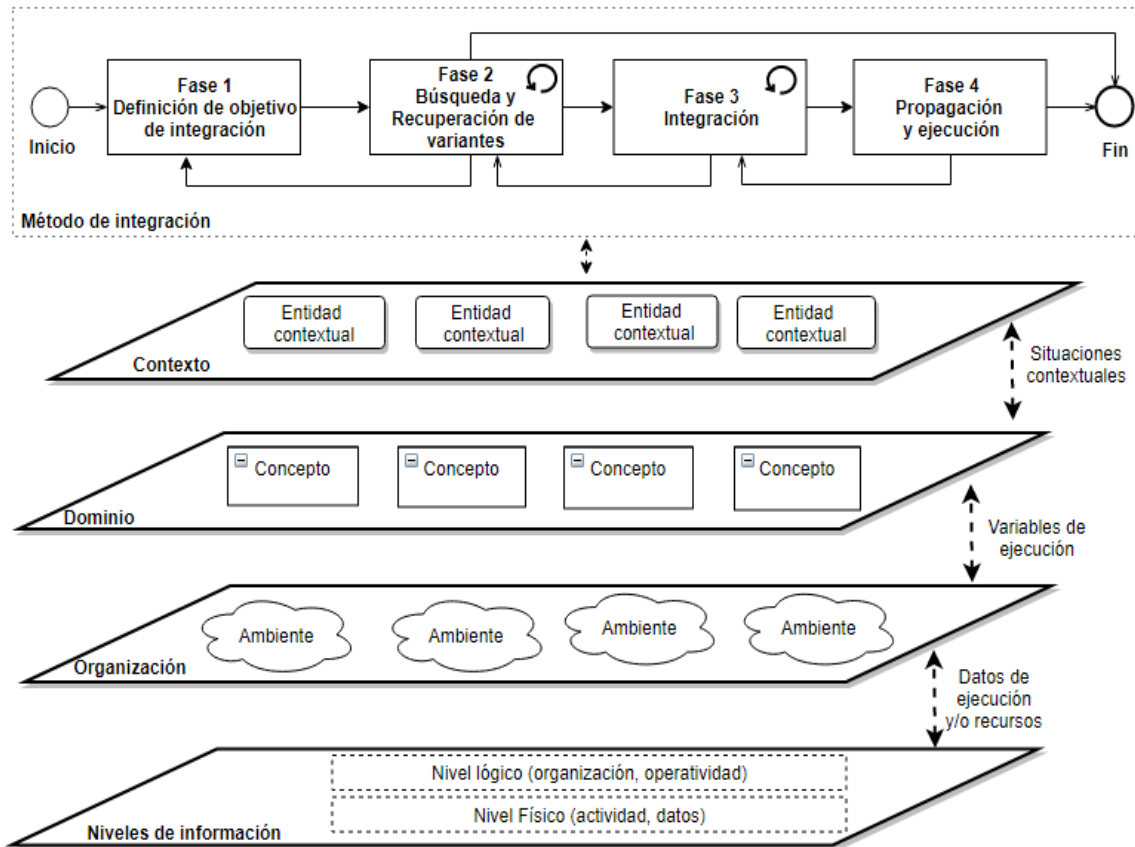
De manera transversal se ubican los niveles de integración que hacen referencia a la información de tipo lógico y físico. El nivel lógico se basa en la información de la organización y sus reglas de negocio, por su parte el nivel físico se enfoca en controlar información y recursos asociados a los objetos y a las actividades.

Las situaciones contextuales son descripciones de los estados de cada una de las fases; dichos estados se relacionan con la información del dominio de ejecución, por tanto, en cada fase el contexto varía de acuerdo con la información ofrecida por el dominio.

Lo anterior indica que de acuerdo con la información del dominio se pueden configurar distintos contextos, representados en situaciones únicas para cada fase. De esta manera, el proceso es sensible y ofrece la capacidad de adaptación, ya que decide si los resultados obtenidos en las fases son apropiados.

En caso contrario, dependiendo de la fase, es posible regresar a la fase anterior, o simplemente alertar mediante etiquetas, posibles incompatibilidades que pueden resultar en la ejecución de la variante si se llegara a aplicar el cambio.

Figura 4-7: Fases del método propuesto y su interacción con los elementos restantes.



Fuente: Autoría propia.

Fase 1. Definición del objetivo de integración: Esta fase busca la definición de los cambios a realizar en las variantes, por medio del objetivo de integración. La primera fase comprende las siguientes tareas individuales.

- Selección del Modelo de proceso referencia (MR).
- Selección del Objetivo de Integración (Obj_Int)
- Validación de la estructura del MR y del Obj_Int
- Identificación de cambios en el Obj_Int
- Definición de cambios en MR.

Fase 2. Búsqueda y recuperación de variantes: En esta fase se realiza una búsqueda y recuperación de variantes apropiadas para la integración. Tanto la búsqueda como la recuperación se basa en medidas de similitud y en el empleo de técnicas de agrupamiento.

Es posible regresar a la Fase 1, cuando las variantes seleccionadas no sean coherentes con el objetivo de integración, o por el contrario no se encuentren variantes para integrar.

El ajuste se basa en la modificación de los pesos en los arcos de los grafos representativos. La Fase 2 comprende las siguientes tareas individuales.

- Validación del *MR* y del dominio de ejecución
- Comparación estructural (Sintáctica) por medio de agrupamiento.
- Comparación de comportamiento (Semántica) por medio de agrupamiento.
- Validación contextual.
- Agrupamiento inteligente.
- Ordenamiento de variantes.
- Generación de reportes al usuario.

Fase 3. Integración: Esta fase se encarga de la generación del *Modelo de Proceso Integrado (MPi)*. El objetivo principal es obtener un modelo de proceso que pueda reemplazar las variantes seleccionadas, dicho reemplazo debe asegurar el mismo comportamiento previo a la integración.

Cabe señalar que la alineación de modelos de procesos consiste en la definición de una descripción formal a partir del conjunto de modelos de proceso a integrar. Las diferencias detectadas se deben registrar en un sistema de bases de datos; para poder regresarlas a sus variantes de origen llegase el caso de no incluir dicha variante en la integración. Las tareas individuales definidas para esta fase son:

- Validación (regresión) de las variantes recuperadas con base en su *MR*
- Alineación estructural y semántica de los modelos de procesos (variantes)
- Generación del *MPi*
- Validación (regresión) del *MPi* con respecto a las variantes integradas.

La regresión, determina la cercanía del resultado obtenido con las variantes, a mayor sea la diferencia del proceso obtenido con sus antecesores, significa que la integración no fue correcta.

Fase 4. Propagación y ejecución: La propagación emplea un enfoque basado en verificación de restricciones. Luego de aplicadas las actualizaciones, se ejecuta el proceso integrado (i.e propagación y ejecución) para determinar el rendimiento y compararlo con los procesos originales. La fase comprende las siguientes tareas:

- Parametrización de los cambios a realizar.
- Aplicación de los cambios.
- Identificación de incompatibilidades a partir de la técnica de verificación de restricciones.
- Ejecución del modelo integrado con cambios aplicados.
- Reemplazo del nuevo modelo por variantes integradas.

4.2.4 Dinámica propuesta para el método de integración

El flujo del método de integración se caracteriza por permitir la repetición de cada una de sus fases, con base en los resultados obtenidos para cada una de ellas, a continuación se describe por cada una de las fases, aquellos criterios de continuidad y de parada que hacen en que el método se adapte de acuerdo con cada caso.

- **Fase 1:** Esta fase se procesa el objetivo de integración. La actividad finaliza cuando se han detectado los cambios a realizar. La entrada a esta fase está dada por la motivación de realizar una integración, por ello no se supone que el método pueda terminar una vez termine la fase.
- **Fase 2:** Durante la búsqueda y recuperación de variantes asociadas al dominio del objetivo de integración y modelo de referencia, existe la posibilidad de no encontrar variantes relacionadas, ya sea por inconsistencias durante la comparación o con su dominio de ejecución, para este caso el método está configurado para finalizar. Sin embargo, otra posible opción del método es solicitar se verifiquen los cambios detectados y se valide los dominios asociados a los cambios, lo que significa regresar a la Fase 1.

Como criterio de aceptación para la fase, se ha definido que el grado de proximidad entre el proceso generado y las variantes sea constante durante todas las ejecuciones, de lo contrario se modifican las iteraciones de la fase.

- **Fase 3:** La Fase 3, depende del resultado del procedimiento de alineación, por lo cual, es necesario que los modelos de proceso a alinear comprendan las alertas contextuales necesarias, así como la información asociada a los niveles de integración. Llegase el caso se carecer de información, el método ejecuta de nuevo la Fase 2, con el fin de

obtener más información de la estructura y comportamiento de los modelos de procesos involucrados. Al igual que la fase anterior puede modificar el número de iteraciones, con el fin de obtener resultados apropiados para la continuidad, de lo contrario se regresa a la fase anterior.

- **Fase 4:** Durante la ejecución se pueden obtener inconsistencias en los resultados del rendimiento del modelo de proceso generado, la razón radica en la inclusión de modelos no recomendados por el proceso. Para ello, el método determina ejecutar de nuevo la fase 3, debido a que las alertas contextuales no fueron definidas correctamente.

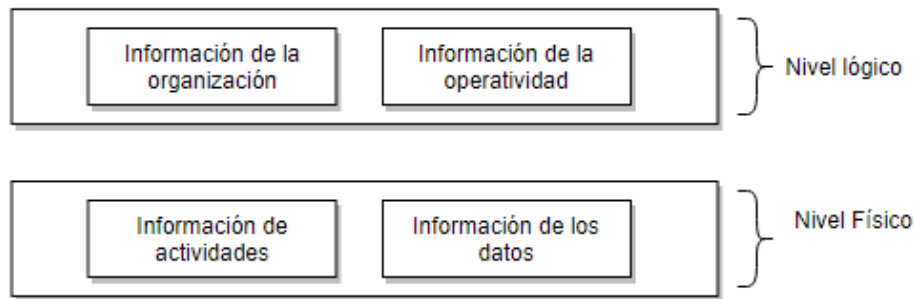
4.2.5 Niveles de Integración

La integración de aplicaciones se ha caracterizado por hacer uso de aproximaciones sistémicas que garantizan la representación por medio de niveles o capas arquitectónicas propias para la separación de tipos de datos.

Cabe señalar que la información de una actividad es dependiente del participante que la ejecuta y de los recursos disponibles para su ejecución, lo que representa el comportamiento de la integración a partir de variables relacionadas con el dominio y los valores relacionados con los recursos disponibles.

Con base en lo anterior se propone una representación basada en capas funcionales que permitan la identificación de los niveles de información y así poder asociarlos a las etapas de un proceso de integración. Así mismo, las reglas y restricciones a la información pueden ser clasificadas de acuerdo con el tipo de dato, facilitando su razonamiento.

En la Figura 4-8, se presenta la arquitectura de la integración basada en niveles y capas. El nivel físico está compuesto por las capas de integración de datos y actividad. Y el nivel lógico por su parte controla información de tipo organizacional y operacional.

Figura 4-8: Niveles de información para la BPI

Fuente: Autoría propia.

Nivel lógico: El nivel lógico de la integración procesa información relacionada con la toma de decisiones o del negocio. La información es controlada por medio de reglas clasificadas como organizacionales y operacionales. Se considera lógico, ya que realiza un razonamiento sobre la información relacionada con las reglas y restricciones del negocio. Las restricciones pueden fácilmente asociarse con el contexto de ejecución con base en los elementos contextuales identificados en el dominio. Se proponen las siguientes capas:

- Capa de integración organizacional: Esta capa se enfoca en controlar información sobre los participantes del proceso. Su representación se hace mediante reglas organizacionales que relacionan las actividades y el estado de los participantes.
- Capa de integración operacional: Esta capa procesa información relacionada con el dominio y los conceptos susceptibles cambios de acuerdo con el ambiente de ejecución. Su representación se hace mediante reglas operacionales que relacionan elementos del dominio con información contextual.

Nivel Físico: El nivel físico se enfoca en controlar información y recursos asociados a los objetos y a las actividades. Este nivel tiene en cuenta: el tipo de dato, relación del dato con el proceso y el dominio.

Se considera físico, ya que se orienta a garantizar la consistencia de la información y su procesamiento por medio de flujos de control y/o decisión, de esta manera permite actualizar o sensar información del entorno; para ello se proponen las siguientes capas:

- Capa de integración de datos: En esta capa se procesa información relacionada con los datos y su pertenencia al dominio. Se valida si el dominio relacionado con el dato

contiene elementos contextuales que faciliten los criterios para modificar sus valores.

- Capa de integración de actividades: Esta capa se enfoca en garantizar la equivalencia estructural y semántica de las actividades durante la integración. La estructura se describe en términos del número de elementos del proceso y la semántica en términos de la secuencia de su flujo, que determina su complejidad.

4.2.6 Definición de situaciones contextuales en la integración

Teniendo en cuenta que para cada uno de los niveles de integración descritos en la sección anterior se debe definir las posibles situaciones y su relación con las etapas del método, así como de los procesos involucrados, se hace uso de la ontología de variantes con el fin de validar los conceptos y sus alertas contextuales.

A continuación, se propone para el método la plantilla de situaciones contextuales organizadas por cada una de sus fases y se especifica en la Tabla 4-4. Los valores surgen a partir de la información de cada uno de los procesos, por ejemplo, su estructura y su comportamiento.

Al momento de ejecutar el método de integración, en cada una de sus fases se debe considerar cada una de las situaciones definidas, no obstante, la selección de los elementos prioritarios está alineada con el dominio de ejecución.

A modo de ejemplo se tiene la situación en la Fase 1 – *Definición de Objetivo*, que afecta el elemento dominio a nivel lógico, la cual hace referencia a la disponibilidad del participante, planteando que al no estar disponible entonces se debe analizar otros perfiles.

Nótese que no se analizan cargos similares, sino perfiles, buscando conocimientos (*atributo contextual*) más que un cargo.

Tabla 4.4: Situaciones contextuales asociadas a cada fase del método

Fase	Nivel	Elemento	Situación Contextual
	Lógico	Participantes	Se deben validar otros perfiles a partir de los conocimientos cuando no haya disponibilidad del participante.

Definición de objetivo	Físico	Dominio	Se deben validar los conceptos de Modelo de referencia y Objetivo de integración cuando se identifiquen correctamente los cambios
		Datos	Se debe realizar una validación de relación de conceptos con el contexto cuando se determine que los cambios no afectan los datos.
		Actividades	Cuando existan recursos para la ejecución de una actividad, se debe validar en las demás actividades para garantizarlos en todo el proceso.
Búsqueda y Recuperación de variantes	Lógico	Participantes	Se debe realizar una validación de relación de conceptos con el contexto cuando la comparación estructural es acorde a los participantes
		Dominio	Cuando la comparación por tipo de variante se realice, es necesario validar los conceptos de dominio y los eventos de creación de la variante.
	Físico	Datos	Cuando se validen los datos del dominio con el contexto, es necesario realizar una validación de la integridad de los datos.
		Actividades	Se debe realizar una validación de relación de conceptos con el contexto cuando la comparación estructural y de comportamiento de las actividades sea acorde al dominio.
Integración	Lógico	Participantes	Se considera que se ha definido correctamente el Modelo de Proceso Integrado cuando la regresión del proceso y participantes es apropiada.
		Dominio	Se considera que se ha definido correctamente el Modelo de Proceso Integrado cuando la regresión conceptual del proceso y su dominio es apropiada.
	Físico	Datos	Cuando la alineación de los datos y la estructura es correcta se aplica el procedimiento de integración.
		Actividades	Se debe realizar una validación de relación de conceptos con el contexto cuando la regresión de actividades este acorde con el modelo de proceso integrado.
	Lógico	Participantes	Se debe realizar un reporte histórico de perfiles cuando haya disponibilidad del participante.

Propagación y ejecución		Dominio	Se deben iniciar la acción de reemplazo cuando se realice la regresión entre el modelo de proceso integrado y el grupo de variantes.
	Físico	Datos	Cuando la ejecución del modelo integrado garantice la consistencia de datos, entonces se aplica la validación contextual.
		Actividades	Cuando la ejecución del modelo integrado garantice buen desempeño, entonces se aplica la validación contextual y los cambios.

4.2.7 Propuesta de formalización del método de integración

En esta sección se propone una formalización de los elementos, fases y situaciones del método de integración propuesto, para ello se hace uso de la lógica de predicados, permitiendo así una posterior implementación por mecanismos de razonamiento.

Considerando la BPI (*Business Process Integration*) un procedimiento para la consolidación de variantes con el fin de propagarles cambios, se propone una representación mediante lógica formal enfatizando en la representación funcional y parámetros complejos de tipo objetual (Murillo, 2014).

Proceso de Negocio: Un proceso de denota por la ecuación (4-1), siendo Pr el proceso compuesto por los elementos y flujo de información. Los elementos E de un proceso son A : *Actividades*, P : *Participantes* y Gt : *Gateways* (Estructuras de control). Por su parte el flujo está dado en términos de las transiciones Tr en función del conjunto de elementos E .

$$Pr(E(A, P, Gt) \wedge Tr(E)) \quad (4-1)$$

Modelo de referencia: La ecuación (4-2) denota un modelo de referencia Mr en términos del valor de un proceso Pr , dado en términos de su relación con las variantes Pr y su Dominio.

$$Mr(Pr) \rightarrow Vr((Pr) \wedge Dom(V_i)Tr(E)) \quad (4-2)$$

Variante: En la ecuación (4-3) se denota la representación lógica de una variante Vr , la cual puede ser una variante por configuración Vc o una por petición Vp . Siendo su atributo

principal Ev un evento de creación, el cual es de tipo estructural o de comportamiento, junto con la descripción de los elementos asociados a dichos eventos.

$$Vr = (Vc |Vp \rightarrow Vi. Ev(Ev(Est) \vee Ev(Comp)) \wedge Elem(Ev_i)) \quad (4-3)$$

Dominio: Representado por la ecuación (4-4), se denota por medio de un conjunto de conceptos C y Relaciones conceptuales R de tipo objetual o literal, así como los valores asociados a dichas relaciones.

$$Dom(Pr) \rightarrow C \wedge R_{(c)} \wedge R_{(c).val} \quad (4-4)$$

Propagación cambios: La ecuación (5) denota la propagación de cambios en términos de la actualización Udp realizada sobre las variantes de un modelo de referencia, mediada por un chequeo Chk de consistencias de los valores y rangos de similitud Sim entre la variantes y el modelo de referencia.

$$Pc(Udp(Mr.Vr(Pr))) \rightarrow Chk(Sim(Mr, V_i)) \quad (4-5)$$

Integración de Procesos: La integración Bpi se denota en términos del proceso de propagación de cambios, el cual se origina a partir de un objetivo de integración Obj y el modelo de referencia en función de las variantes. La ecuación (4-6) representa la BPI.

$$Bpi(Pc \leftrightarrow Obj \wedge Mr(Vr)) \quad (4-6)$$

Contexto: El contexto se representa mediante un conjunto de situaciones S y unas restricciones asociadas a un dominio, ver ecuación (4-7). La ecuación (4-8) define las situaciones contextuales S , las cuales indican el elemento contextual focalizado, así como el resultado de la presencia de la situación.

$$Ctx(S \wedge Rest(Dom)) \quad (4-7)$$

$$Sit(ETcx \wedge Rest(Va_Ctx) \wedge Result(? this)) \quad (4-8)$$

Elemento contextual: Un elemento contextual está directamente relacionado con el dominio de ejecución, con la organización y con los actores del proceso. Por ello es

importante resaltar que el elemento contextual es un objeto complejo, descrito en la ecuación 4-9.

$$ECtx = \{ECtx \mid eCtx = (actor, proceso, organizacion) \quad (4-9)$$

$$\leftrightarrow eCtx \in (? ctx) \wedge sit(? ctx) = true$$

Objetivo de integración: El objetivo está dado en términos del conjunto de eventos E, el modelo de referencia *Mr* y la actividad afectada. Ver ecuación (4-10)

$$Obj_int(Mr(Vr) \wedge actividad(id) \leftrightarrow Obj_int(evento.tipo)) \quad (4-10)$$

La representación lógica facilita su implementación por medio de reglas de producción, así como predicados que facilitan el razonamiento sobre variables dependientes del entorno. Así mismo, mediante la representación objetual, es posible realizar algoritmos recursivos que puedan implementarse mediante grafos.

4.3 Modelo de contexto para la Integración de Procesos de negocio

En esta sección se presenta el modelo de contexto propuesto que da soporte al método de integración de procesos de negocio. Inicialmente se describe la propuesta de metodología empleada para el modelado de contexto, luego se modelan las situaciones contextuales con sus respectivas entidades, atributos y valores asociados al contexto.

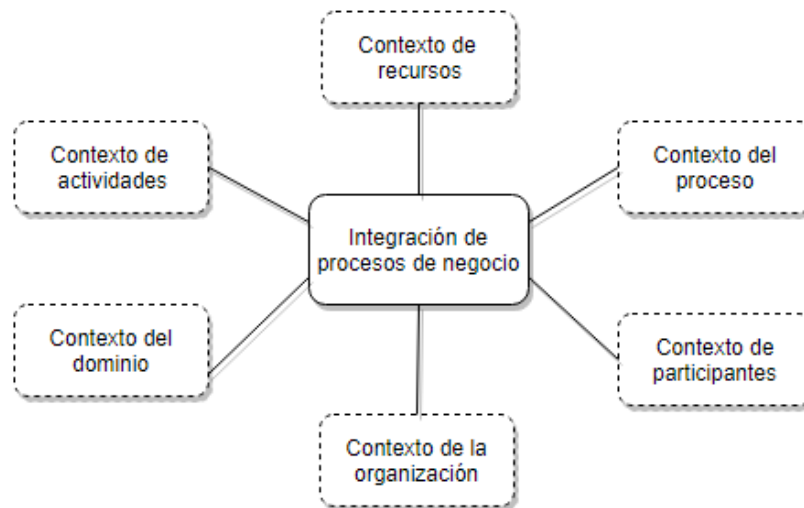
4.3.1 Metodología propuesta para el modelado del contexto

Tomando como punto de partida el procedimiento planteado por Lee et al. (2011) (Ver Figura 2.2) se proponen las siguientes actividades:

Actividad 1 – Definición de dimensiones contextuales: Araujo et al. (2013) proponen la definición de dimensiones para cuando se desea modelar un contexto a partir de entidades. Las dimensiones de contexto comprenden agrupaciones de entidades contextuales

relacionadas sintáctica y semánticamente. La Figura 4-9 presenta las dimensiones propuestas para la BPI.

Figura 4-9: Dimensiones para el modelo de contexto



Fuente: Autoría propia.

- **Contexto de recursos:** Comprende las entidades relacionadas con el consumo de recursos para la ejecución de un proceso junto con sus actividades. La información comprende tiempo, número de personas involucradas y disponibilidad. La representación del contexto de los recursos, se hace mediante la estructura conceptual propuesta en sintaxis XPDL.
- **Contexto del proceso:** Agrupa las entidades que permiten la representación, almacenamiento, instanciación, variación y ejecución de modelos de proceso. El contexto de un proceso se describe mediante las situaciones identificadas.

La representación se hace mediante estructuras dinámicas (listas de objetos) donde cada proceso es analizado frente a sus situaciones y dominio, con el fin de determinar si el contexto afecta la ejecución de un proceso.

- **Contexto de los participantes:** Esta dimensión comprende información relacionada con las competencias, experiencia, uso del proceso y disponibilidad.

El contexto de los participantes está asociado con el dominio de ejecución y representado mediante listas de objetos. Cada usuario representa una interacción con el proceso, indicando cada interacción un posible contexto asociado. Por ello el usuario puede participar de diferentes maneras en el proceso.

- **Contexto de la organización:** Esta dimensión hace referencia a la información asociada a sus reglas de negocio; también incluye reglas de tipo externo (e.g Leyes de un determinado país). Para la representación de la organización, se hace uso de la ontología de dominio, que garantiza los conceptos apropiados para la aplicación de reglas en la organización.
- **Contexto del dominio:** Comprende los conceptos relacionados con el dominio de ejecución del proceso; tiene relación directa con el ambiente de ejecución y el contexto. Cabe recordar que el dominio incluye marcas contextuales en aquellos conceptos identificados susceptibles a situaciones.
- **Contexto de las actividades:** Esta dimensión se relaciona con la información de las actividades, su ejecución y recursos empleados. El contexto de las actividades, así como del mismo proceso, depende del dominio de ejecución.

Se ha diseñado un esquema de representación de procesos de negocio mediante sintaxis XPDL, en ella es posible asociar restricciones para su posterior procesamiento en un mecanismo de inferencia.

Actividad 2 - Adquisición de información contextual: Los sensores empleados son de tipo virtual, las fuentes son directamente los elementos contextuales definidos, sin embargo, se emplean sensores virtuales externos para el manejo de tiempo, ubicación, histórico de creaciones de variantes y para variables propias del contexto individual del proceso (ejemplo: tasa de cambio del dólar).

Con base en lo anterior, los sensores definidos son:

- Sensor virtual de geolocalización.

- Sensor virtual de validación del tiempo.
- Sensor virtual de análisis de recursos.
- Sensor virtual de análisis de procesos

Actividad 3 – Almacenamiento de información contextual: Con el fin de almacenar correctamente la información recolectada, se propone una representación del contexto basada en entidades y atributos, con el fin de proponer y formalizar las situaciones correspondientes.

Con base en lo propuesto en la Figura 4.9, se presenta en la Tabla 4.5 el modelado de cada una de las entidades definidas; se tiene en cuenta la dimensión, sus atributos y los valores a tomar. Para esta actividad, el uso de ontologías es indispensable, pues permite asociar la información del dominio y así validar su correspondencia con situaciones contextuales.

Tabla 4-5: Listado de entidades contextuales con sus atributos

Contexto	Entidad contextual	Atributo	Valores
Recursos	Datos	Origen	Tipo de datos, archivo.
		Disponibilidad	Estado
Modelos de proceso	Modelo de referencia	Dominio	Conceptos, Procesos
	Variantes de proceso	Tipo de variante	Modelo de referencia
	Modelo proceso integrado	Comportamiento	Reglas y axiomas
Participante	Rol Humano	Perfil	Estructura XPDL
	Rol sistema	Disponibilidad	Estructura XPDL
	Entorno	Restricciones asociadas	Ontología de dominio y contexto
	Tiempo	Duración	Estructura XPDL
	Ubicación	Posición geográfica	Ontología de dominio
Actividades	Estructura	Número de actividades	Nodos del grafo.
	Comportamiento	Secuencia	Reglas y axiomas
Dominio	Organización	Restricciones asociadas	Conceptos, Procesos

Actividad 3 – Procesamiento de información contextual: Esta actividad busca realizar una interpretación del contexto, para ello se propone una representación basada en Situaciones contextuales, las cuales se detallan en la sección siguiente.

Actividad 4 – Uso de información contextual para aplicaciones. Se diseñó un sistema inteligente que hace uso de la información contextual de cada uno de los procesos y la asocia al método de integración, con ello es posible brindarle capacidad de adaptación. El mecanismo de implementación y uso del contexto se explica en la sección 4.3.

4.3.2 Diseño detallado de Situaciones contextuales en el modelo de contexto

Las situaciones contextuales se relacionan con variables del dominio, las cuales componen la información disponible en las entidades del modelo de contexto. A partir de cada entidad es posible determinar las situaciones posibles aplicando la información de la Tabla 4.3 - *Situaciones Contextuales para cada fase*- de esta manera se trabaja sobre un foco de información, permitiendo que mediante las situaciones se pueda razonar sobre el contexto.

La idea de modelar las situaciones es que sea posible tomar decisiones respecto a la situación, entidad contextual y fase del método de integración. Considerando lo anterior, el método debe ser capaz de adaptarse a partir de las decisiones que toma. Este mecanismo de decisión se aborda en la sección 4.3 aplicando un enfoque inteligente.

La Tabla 4-6 condensa las situaciones definidas para cada una de las entidades. El valor contextual apunta a la información dispuesta en los niveles de integración. La representación de las situaciones está dada en lógica de primer orden.

Cabe señalar, que, debido a la naturaleza genérica del método, es posible aplicarlo en distintos casos de estudio en diversos dominios bajo condiciones específicas, lo que refleja una capacidad de extensibilidad que ofrece el método.

Tabla 4-6: Situaciones definidas para las entidades contextuales

Entidades	Valor Contextual	Situaciones
Datos	Cambios	Cambios afectan la usabilidad de los datos

	Estructura del proceso	Formato de los datos aplica para varios procesos
	Ejecución	Durante la ejecución se emplean a completitud los datos.
Modelo de referencia/ Variante	Dominio y Objetivo de integración	Se presenta incompatibilidad conceptual Existen valoren no apropiados en la comparación
	Cambios	Los cambios afectan el Modelo de referencia
Modelo de Proceso Integrado	Dominio	Se presenta incompatibilidad conceptual
	Variantes	La regresión evaluada no es coherente con resultados anteriores
Participante/Rol	Conocimiento	No hay disponibilidad del recurso y existe un posible reemplazo
	Funcionamiento	El sistema externo está disponible y se ajusta a la integridad de datos organizativos.
Entorno/Tiempo/ubicación	Tipo de Restricción de acuerdo con el nivel de integración	La entidad es vital para el dominio y el proceso.
Actividades	Eventos creación	El tipo y el número de cambios no son coherentes con la estructura
	Recursos	No hay disponibilidad apropiada de acuerdo con las actividades
	Comparación y agrupamiento	Incoherencia en los valores de comparación. La comparación no es apropiada con los valores del dominio.

Para el método de integración inteligente y adaptado al contexto es de vital importancia modelar cada una de sus fases, situaciones y entidades relacionadas, así mismo tener en cuenta el tipo de información que se está tratando.

El modelado del método y de su contexto, permite que se definan reglas de inferencia y la toma de decisiones sea tratada como un problema de la inteligencia artificial y por ende se aplican las técnicas de solución. La siguiente sección presenta una propuesta de mecanismo de decisión inteligente.

4.4 Sistema de razonamiento inteligente y adaptación

En esta sección se presenta el diseño del sistema inteligente encargado del procesamiento de la información relacionada con los procesos, el procesamiento del contexto y el razonamiento de este, todo ello con el fin de tomar decisiones frente al comportamiento de las variantes a integrar durante la ejecución de cada una de las fases del método propuesto.

El diseño comprende un sistema de representación de modelos de procesos, un sistema de razonamiento y una arquitectura tecnológica basada en servicios web y agentes de software sensibles al contexto.

4.4.1 Representación del problema

La representación del problema consiste en la definición de un estado inicial, un estado final y los posibles estados satisfactorios. A partir de esta premisa se definen como estado, la representación estructural y semántica de un proceso, formalizada por medio de grafos de estado, por lo tanto, se tiene lo siguiente:

Estado Inicial: Modelo de proceso de referencia, modelo de proceso de objetivo de integración, cambios identificados.

Estado Final: Modelo de proceso integrado, modelos de proceso de variante reemplazados, cambios aplicados.

Estados intermedios: Modelo de proceso de variante, modelo de proceso integrado, cambios analizados.

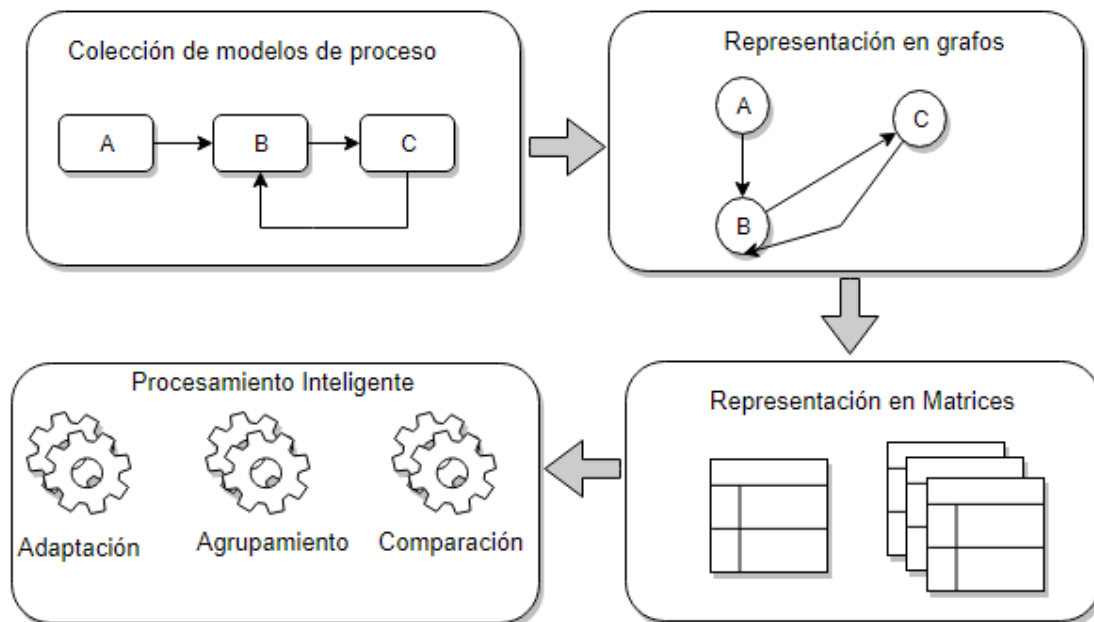
Básicamente se propone un sistema de razonamiento basado en reglas que permite la evaluación de cada uno de los nodos de un grafo. Cada nodo representa una actividad del proceso, a la cual se le puede realizar un razonamiento basado en propagación de restricciones y un análisis de su contexto.

Para la representación del problema se definen las siguientes tareas específicas:

- Validación de estructura del proceso.
- Generación de grafos dirigidos de modelo de proceso de referencia.
- Generación de grafos dirigidos de objetivo de integración.
- Generación de rutas de solución asociadas a flujos
- Asociación de datos complejos a cada actividad.
- Validación final

La Figura 4-10 presenta el esquema general del sistema de razonamiento. Parte de unas colecciones de modelos de proceso, pasa a traducirlas en grafos dirigidos. Haciendo uso de tablas de adyacencia, de pesos y objetos complejos, se realizan actividades como comparación de procesos, identificación de flujos y aplicación de cambios.

Figura 4-10: Esquema general del sistema de razonamiento



Fuente: Autoría propia.

4.4.2 Diseño del mecanismo de inferencia basado en reglas

El mecanismo de inferencia se compone de un conjunto de reglas, un conjunto de hechos, datos disponibles en matrices de adyacencia, pesos y objetos complejos, así mismo, el mecanismo comprende un algoritmo de razonamiento y adaptación.

Reglas de razonamiento definidas: Las reglas definen la consecuencia a partir de la activación de antecedentes. De este modo, el antecedente de la regla es la situación que se presente y el consecuente la acción a realizar.

Las reglas tienen la siguiente forma:

Si una situación se presenta y la información contextual afecta el método **entonces** validar estados necesarios para su adaptación y registro de decisiones.

Con base en lo anterior se proponen diez (10) reglas de razonamiento, las cuales se agrupan en: niveles de integración, entidades, contexto y método de integración. La Tabla 4.7 consolida las reglas para cada uno de los grupos.

Hechos iniciales: Como hechos iniciales se tiene los datos relacionados con la estructura y comportamiento de los procesos. Así mismo sus modelos de proceso representados en grafos de estado. La lista de hechos es actualizada constantemente, ya que cada actividad del flujo de información del proceso representa un grafo de estados diferente.

Tabla 4-7: Expresión lógica de las reglas de razonamiento definidas

Grupo de reglas	Expresión lógica
Reglas de los niveles	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge ECtx(? nivel_log) \rightarrow get(? fase) \wedge get(Ctx_capa)$
	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge ECtx(? nivel_fis) \rightarrow get(? fase) \wedge get(Ctx_capa)$
Reglas de las entidades	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge v_conceptual(? this) \rightarrow get(? ent) \wedge getAtr(? ent)$
	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge get(? ent) \rightarrow validar(? Dim(ent[i])) \wedge sensores(? ent, ? dom) \wedge Ctx(? dom)$
Reglas del contexto	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge get(? ent) \rightarrow afecta(? va_ctx, ? sit) \wedge aplicacion(? decision, manual)$
	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge set(? dom) \rightarrow validar(? ctx, ? pr[i], ? ontologia)$

Reglas del método	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge fase(? this)$ $\rightarrow eval(? desicion(\zeta this)) \wedge set_reporte(? fase[i])$
	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge set_reporte(done) \rightarrow analizar(? ctx) \wedge reboot(? fase)$
	$valida_Sit(Sit[i], Dom, Pr) \wedge reboot(metodo) \wedge validar(coleccion)$ $\rightarrow iniciar(metodo) \wedge registrar_historico()$
	$valida_Sit(Sit) \wedge alertas(? ctx, dom)$ $\rightarrow registro_historico(? proceso) \wedge adaptacion(decisiones[])$

Algoritmo de solución: La Figura 4-11 presenta el algoritmo definido para el razonamiento inteligente. Se compone de 2 subprogramas para la propagación de cambios y para el agrupamiento empleando la técnica descrita en las secciones 2.4 y 2.5 (Verificación de restricciones y técnicas de agrupamiento). El algoritmo trabaja con la colección de modelos y con las reglas definidas.

Explicación del algoritmo: El algoritmo inicia cuando se hace una representación en grafos a cada uno de los modelos de proceso, para así generar matrices de incidencia y adyacencia, para continuar con la definición de estados factibles. Si el flujo de los procesos es igual entonces se propagan los cambios, de lo contrario se debe realizar un agrupamiento para definir un solo modelo de propagación.

En el procedimiento de propagación, se emplean técnicas de verificación de restricciones para poder valorar las opciones de solución con previa aceptación. Por su parte el agrupamiento como un filtro de las a las variantes previamente seleccionadas.

Complejidad del algoritmo: El algoritmo de razonamiento un orden de complejidad $O(n^2)$ pese a tener el llamado a dos subprocesos. El diseño lineal facilita su posterior optimización.

FIGURA 4-11: ALGORITMO GENERAL DEL SISTEMA DE RAZONAMIENTO PROPUESTO

```

inicio():
  grafos[]=generar_grafos(cargar_modelos(coleccion));
  generar_matrices(grafos[]);
  definir_estados(grafos[i]);

  if capturar_flujos<-true: propagacion();
  else: agrupacion(listado=propagacion(objetivo_int, coleccion));

  reportar(grupos[]=agrupacion());

propagacion():
  definir_nodo(raiz);
  generar_adyacentes(revisar_nodos());
  analizar_adyacentes(restricciones);
  gestionarCola(adyacentes);
fin_propagacion

agrupacion():
  gestionarCentros();
  grupos[] = comparacion(sint, sem, procesos[]);
  grupos[] = aplicar_filtro_contextual();
  generar_alertas_contextuales();
fin_agrupacion

fin inicio

```

Fuente: Autoría propia.

4.4.3 Implementación del Sistema Inteligente de Adaptación a través de agentes contextuales

La implementación del Sistema Inteligente de adaptación para el método de integración consta de una arquitectura y el desarrollo de un sistema multi-agente centrado en el análisis de los procesos y sus contextos.

Arquitectura Propuesta: El estilo arquitectónico empleado es el basado en componentes, estos son:

- Sistema multi-agente: Se encarga de la interacción con el usuario y de la lectura de decisiones del sistema de razonamiento. Este componente gestiona información a través de la capa de servicios.

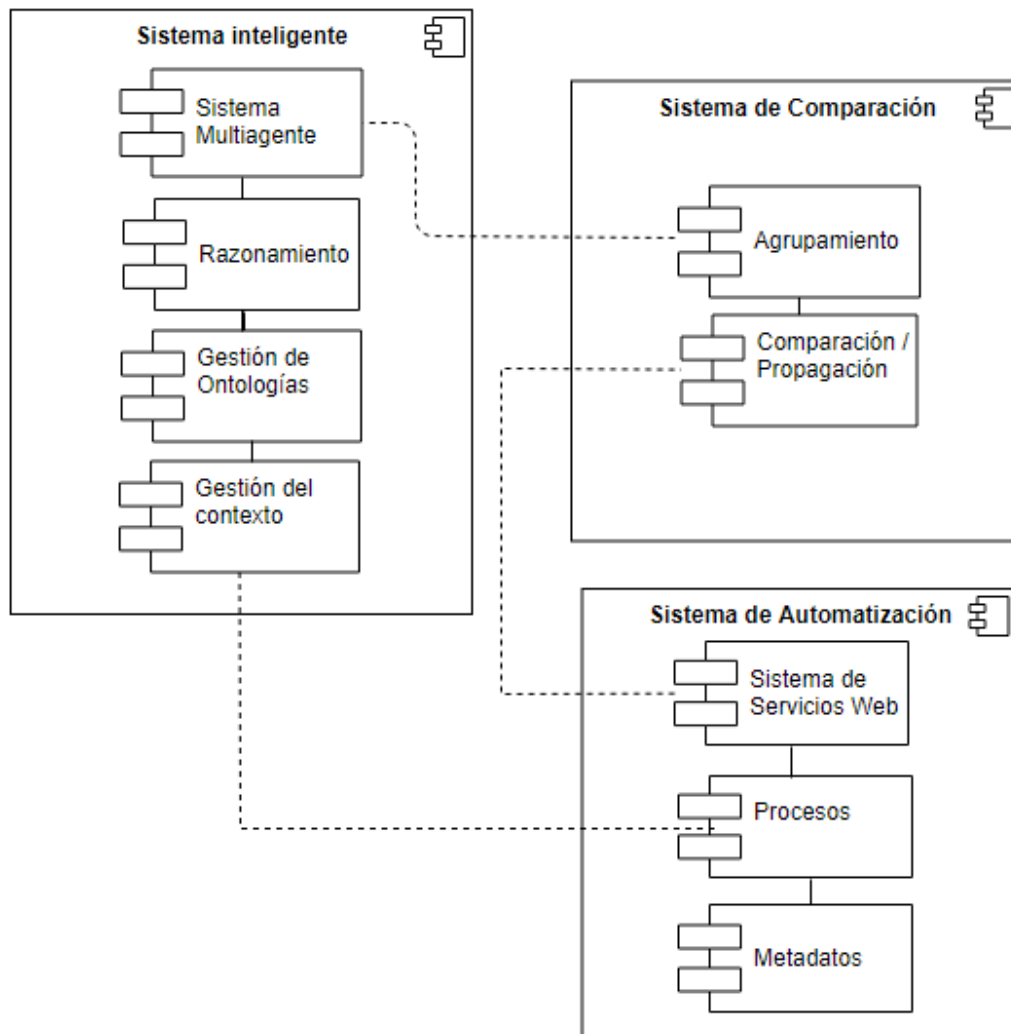
- Sistema de comparación: Compuesto por los módulos de agrupamiento y comparación. En este sistema se aplica la propagación de cambios, con el fin de tener a la mano la información de los cambios realizados.

- Sistema de automatización: Se encarga de interactuar con el sistema multi-agente, brindando principalmente información proveniente del contexto. Este componente gestiona la información de los sensores virtuales. Se compone de los siguientes servicios:
 - Servicio Web de gestión de procesos: Encargado de la representación de los procesos en el lenguaje XPDL y su gestión por medio de reportes especializados.

 - Servicio Web de caracterización: Este servicio se encarga de calificar cada uno de los procesos con el fin que pueda ser utilizado por el procedimiento de comparación.

 - Servicio Web ontológico: Permite enviar consultas a las distintas ontologías diseñadas. Sus respuestas están basadas en formatos SOAP (Simple Object Access Protocol).

En la Figura 4-12 se presenta la arquitectura propuesta para dar soporte al sistema de razonamiento y adaptación.

Figura 4-12: Arquitectura propuesta

Fuente: Autoría propia.

Conceptualización del sistema multi-agente propuesto: La construcción del sistema multi-agente (SMA), garantiza que el método sea sensible y adaptable al contexto. La arquitectura empleada para el diseño del sistema es la BDI (*Beliefs, Desires and Intentions*) (Weiss, 1999).

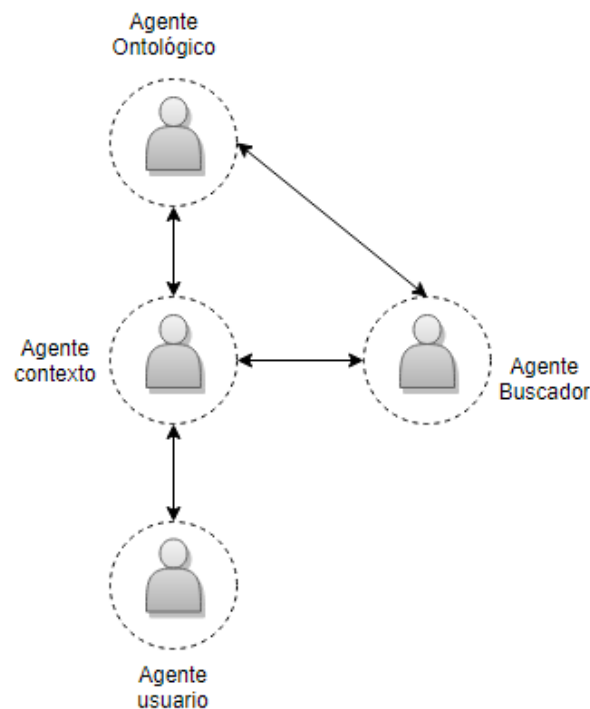
Se definieron los siguientes agentes: Agente Ontológico, Agente Gestor, Agente Buscador y Agente Usuario.

El “*Agente contextual*”, básicamente interactúa con los demás agentes con el fin de aplicar los mecanismos de inferencia definidos. Es quien controla y toma las decisiones de adaptación del método con base en la información contextual. Así mismo es el puente conector entre el SMA y la capa de gestión basada en servicios web.

El “*Agente Ontológico*” se caracteriza por comparar los términos encontrados con las ontologías de contexto y dominio disponibles, cualquier incompatibilidad conceptual debe ser reportada al “*Agente contextual*”.

Por su parte el “*Agente Buscador*” es el encargado de procesar la información de las colecciones de modelos de proceso. Así mismo aplica los diferentes filtros y realiza el agrupamiento necesario. La Figura 4-13 presenta las interacciones de los agentes.

Figura 4-13: Interacciones entre agentes



Fuente: Autoría propia.

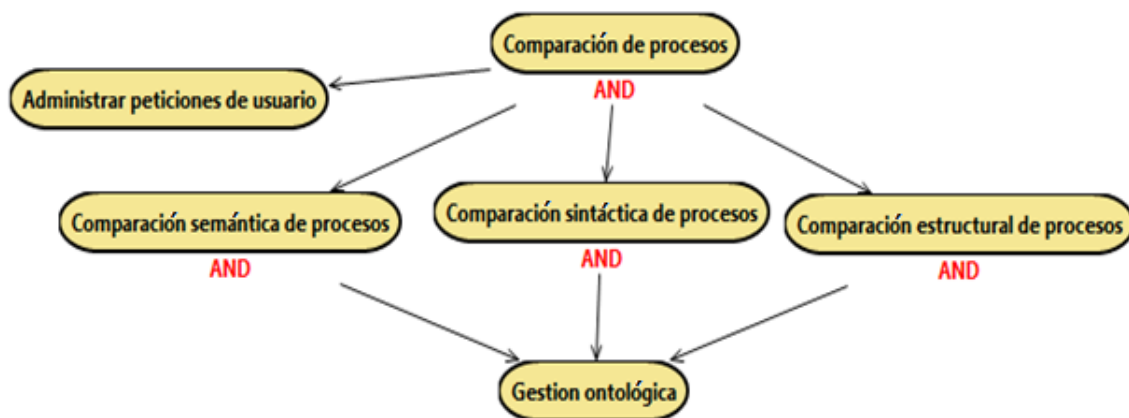
Algoritmos de razonamiento basado en el contexto: El razonamiento sobre el contexto, tiene como elemento principal la arquitectura BDI, por tanto se enfoca en la manipulación de hechos y creencias para actualizar sus intenciones; se basa en las siguientes actividades:

- Observar el entorno y actualizar hechos y *creencias*.
- Razonar y decidir las *Intenciones* a realizar.
- Razonar y definir un plan para alcanzar las *intenciones*.
- Ejecutar el plan.
- Ejecutar el ciclo hasta que las *metas* sean alcanzadas

Modelado del sistema multi-agente: La metodología empleada para el diseño del SMA es Prometheus (Padgham & Winikoff, 2004), la cual se enfoca en el en la arquitectura BDI. A continuación, se detallan algunos de los artefactos obtenidos en algunas de sus fases.

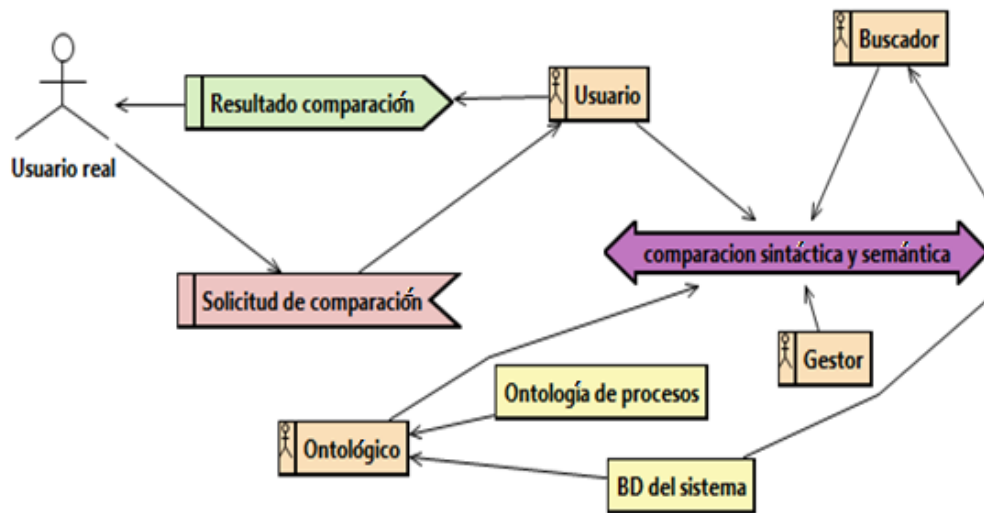
La Figura 4-14 presenta la estructura de las metas a alcanzar, mientras la Figura 4-15 presenta la vista generalizada del sistema, donde indica las posibles funciones de los agentes, así como los sistemas externos y/o internos a los cuales tiene acceso.

Figura 4-14: Diagrama General de Metas. Artefacto metodología Prometheus



Fuente: Autoría propia.

Figura 4-15: Diagrama General de Análisis del sistema. Artefacto de la metodología Prometheus.



Fuente: Autoría propia.

4.5 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentó el método de integración con capacidad de sensor información contextual y adaptarse a las situaciones relacionadas. Se describieron sus elementos principales, las fases que lo componen y una formalización lógica para su procesamiento y razonamiento.

Se describió el sistema inteligente que le da soporte al razonamiento, se proponen algoritmos de verificación de restricciones para la propagación de cambios; para la adaptación y toma de decisiones se diseñó un sistema multi-agente contextual, compuesto por cuatro agentes que permiten el procesamiento de la información.

Debido a que el sistema de razonamiento inteligente procesa gran cantidad de información, en relación con la estructura de los procesos, se propone una aproximación basada en servicios con el fin de mejorar el rendimiento y la gestión de información.

El capítulo siguiente presenta la implementación y validación del método propuesto. La implementación se basa en la aplicación de la propuesta tecnológica, así como en el

desarrollo de los algoritmos de comparación, agrupamiento y razonamiento basado en información contextual.

5. Implementación y validación del método

El presente capítulo detalla la implementación del método en cuatro casos de estudio diseñados. Como primera medida, se define una arquitectura tecnológica que le de soporte a la implementación. A partir de ello, se desarrolla una aplicación de escritorio web para la gestión automática de los diferentes algoritmos definidos.

Para la definición de cada uno de los cuatro casos de estudio se tiene en cuenta los siguientes aspectos: una descripción de sus actividades y flujos, así como la información contextual asociada y prioritaria; la definición del objetivo de integración y la información estructural de las variantes asociadas. Por último, se instancia el método de integración propuesto en cada uno de los casos, con el fin de obtener resultados para la posterior evaluación.

La validación del método se realiza a la capacidad de representación y recuperación de variantes, a los algoritmos de agrupamiento, alineación e integración, así como al mecanismo de inferencia del sistema inteligente.

5.1 Implementación de prototipo para la gestión automática del método

En esta sección se describe el desarrollo de la herramienta informática que permite la ejecución de los distintos procedimientos y algoritmos asociados al método de integración propuesto.

5.1.1 Arquitectura definida

La arquitectura se basa en un patrón orientado a capas complementado con un enfoque cliente / servidor. Los elementos que componen la arquitectura son:

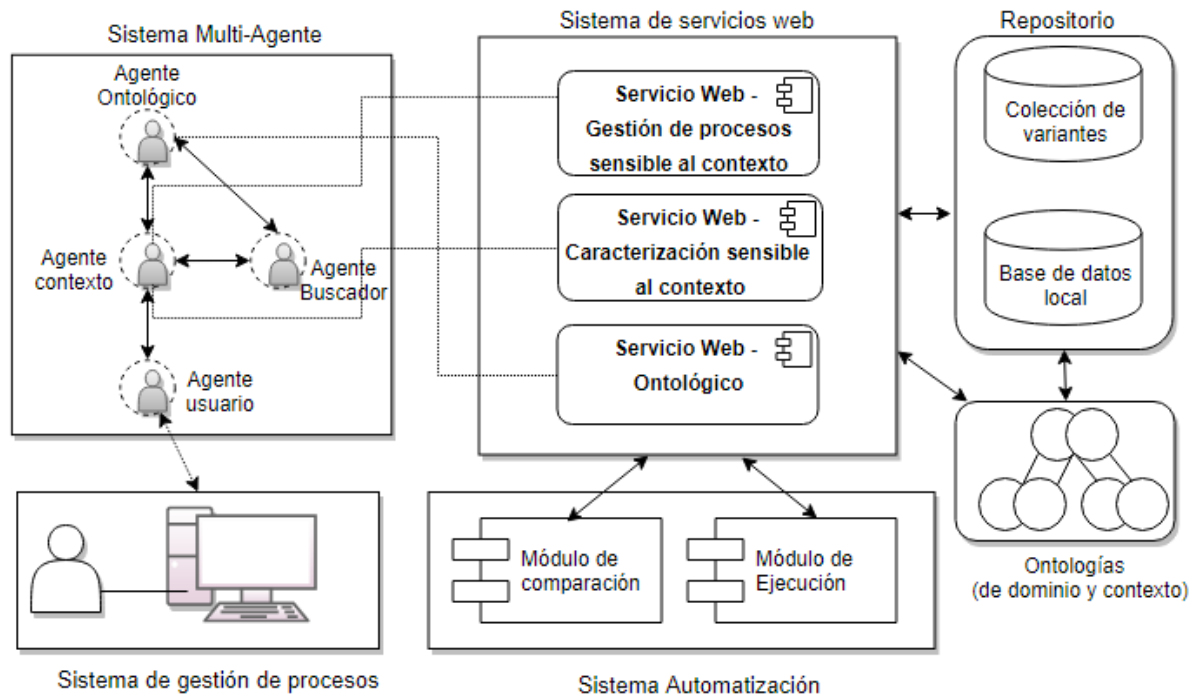
- **Elemento 1 - Repositorio:** Compuesto por la colección de variantes de procesos y un registro de información local. Este último permite la automatización del proceso y consulta a históricos de ejecución.

- **Elemento 2 - Ontologías:** se emplea para cada caso de estudio dos ontologías. La primera es la ontología de variante de proceso y la segunda es la ontología de dominio. Su descripción está en formato RDF y es consultada por medio del lenguaje de consulta RQL (Karvounarakis et al., 2002).
- **Elemento 3 - Sistema de servicios web:** Su función principal es facilitar la interacción entre los componentes de la arquitectura, garantizando confiabilidad y rendimiento a la hora de implementar la capa de sistema SOA propuesto para soportar el razonamiento inteligente (ver sección 4.3.3).
- **Elemento 4 - Sistema de automatización:** Comprende los módulos de comparación y ejecución. Este sistema permite la ejecución y monitoreo del método, así como de los procesos asociados.
- **Elemento 5 - Sistema Multi-Agente:** Su principal función es garantizar una adecuada adaptación y un correcto razonamiento sobre el método. El SMA interactúa con el Sistema de servicios web para entregar resultados directamente al usuario.
- **Elemento 6 - Sistema de gestión de procesos:** Interactúa con el usuario final, mediante formularios de captura de información, pero principalmente en la generación de reportes que apoyen la toma de decisiones. Otra función importante es la gestión de los modelos de procesos centrada en la información de los repositorios.

El usuario ingresa la información necesaria realiza la búsqueda y recuperación, donde se le retornan el listado de procesos a integrar. Posteriormente se ejecuta la integración y propagación, entregando al usuario los datos de ejecución detallada y de rendimiento del proceso.

La Figura 5-1 presenta la arquitectura tecnológica que da soporte a la implementación definitiva para el método de integración de procesos de negocio, sensible y adaptado al contexto.

Se observa que el módulo del sistema multi-agente interactúa con el usuario y con el sistema de servicios web, que a su vez gestiona la información de los procesos, realiza las validaciones conceptuales y comparaciones acoplándose al módulo de comparación.

Figura 5-1: Propuesta tecnológica para implementación de método de integración

Fuente: Autoría propia.

El sistema de servicios controla la ejecución y captura de bitácoras (logs) de información que complementan los datos necesarios para el mecanismo de razonamiento, como por ejemplo: tiempo de duración del proceso, disponibilidad de un servicio que soporta una actividad, entre otros.

Las ontologías son indispensables ya que permiten asociar conceptos del dominio de ejecución a instancias de la ontología del contexto. Por su parte, cada ontología de dominio ayuda a identificar aquellas variables que pueden ser susceptibles a cambios a partir de situaciones contextuales exclusivas para el dominio de ejecución.

5.1.2 Aspectos tecnológicos para la implementación del método

La interfaz principal gráfica de usuario está desarrollada en Java/JSP versión 1.7 empleando la plataforma de desarrollo NetBeans 7.0. El módulo principal se comunica con

el sistema multi-agente usando el *framework* JADE (*JAVA Agent DEvelopment Framework*) versión 4.3 y JASON 2.1.

Por el lado de los modelos de procesos, se emplea para su representación lenguaje XPDL versión 2.0, notación BPMN versión 2.0, sistema de ejecución JBPMN complementado con JBoss. Como servidor para los servicios principal se tiene a GlassFish, la descripción de los servicios es básica en WSDL.

Para el manejo de los datos y archivos se tiene XML y sistema gestores de bases de datos que emplean el lenguaje SQL. La sintaxis XML se emplea para el diseño de objetos complejos (ejemplo Objetivo de Integración). La información contextual se maneja con archivos RDF y la lógica mediante axiomas descritos en lógica de predicados.

En cuanto al sistema inteligente, se emplea una representación de hechos y reglas en lógica de predicados. Para los razonamientos generales e identificación de planes se hace uso de JESS como motor del lenguaje CLIPS. Este razonamiento básico alimenta los algoritmos de integración, alineación y agrupamiento, los cuales fueron programados con el lenguaje JAVA. La Tabla 5.1 condensa la información relacionada con la implementación de cada sistema.

Para el razonamiento del contexto e intercambio de información se emplea el lenguaje Agent-Speak y el lenguaje FIPA/ACL respectivamente. Agent-Speak permite razonar sobre el entorno a partir de hechos lógicos, tiene gran capacidad de capturar información del entorno para modificar el comportamiento del agente. Mientras FIPA/ACL garantiza plantillas de mensajes con contenido semántico para el intercambio de información.

Tabla 5-1: Listado de aspectos tecnológicos ligados a la implementación

Elemento	Tecnología
Interfaz principal	Lenguaje JAVA / JSP 1.7, HTML, Javascript Plataforma NetBeans 7.4, Sistema Operativo Windows 8.1, SGBD MySQL.
Sistema Multi-agente	JADE versión 4.3, JASON versión 2.2, Lenguaje JAVA 1.7, Plataforma NetBeans 7.4. Performativas FIPA/ACL Lenguaje Agent-Speak

Sistema de servicios web	Servidor de servicios Tomcat, lenguaje de lógica de negocio Java/JSP, descripción en WSDL.
Servicio web caracterización	Lenguaje JAVA 1.7, Plataforma NetBeans 7.4, lenguaje XPDL, Sistema de gestión de datos MySQL/SQL sistema de objetos complejos en XML
Servicio web gestión de procesos	Ejecución en Java 1.7, servidor JBPM con JBoss. Lenguaje de descripción XPDL. Generación de bitácoras formato CSV. Notación BPMN Herramienta de modelado Bizagi Modeler.
Servicio web ontológico	Herramienta Protégé, Framework JENA, plugin BeanGenerator de Protégé, Lenguaje RDF/XML, Lenguaje de consulta RQL. soporte de datos con MySQL/SQL
Sistema inteligente	Lenguaje JAVA 1.7, Plataforma NetBeans 7, motor JESS + CLIPS. Lógica de primer orden.

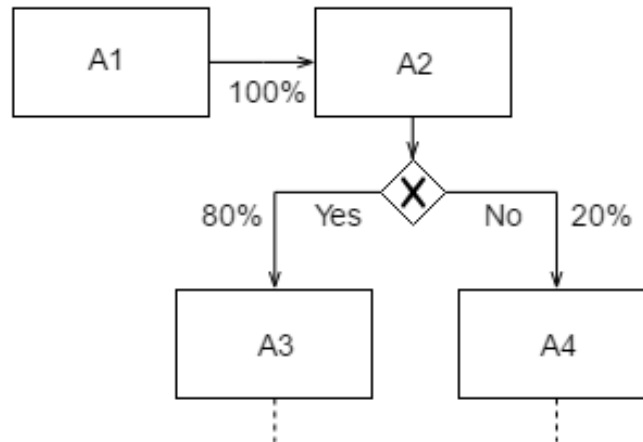
5.1.3 Propuesta para la generación de bitácoras de ejecución

Para analizar el comportamiento del proceso, se procedió a generar registros de 100 ejecuciones; tomando como elemento principal la probabilidad de ejecución de un flujo determinado. A partir del trabajo realizado por Zhang et al. (2018) se propone el registro de las actividades ejecutadas, con el fin de comparar la trazabilidad asociada.

El flujo está dado en términos de la transición entre cada una de las actividades (se incluyen las estructuras de control). Cada una de las ejecuciones varía la probabilidad de ejecución de cada uno de los flujos.

La Figura 5-2, presenta un ejemplo de probabilidad de ejecución de los flujos de un proceso, es así como al volver dependiente la probabilidad a variables del contexto, es posible generar situaciones que representen ejecuciones diferentes para el proceso. En la figura se indica que la actividad A3 tiene una probabilidad de 80% de ser ejecutada ya que la estructura de control y los datos asociados a la actividad A2 lo permiten.

Figura 5-2: Esquema propuesta para la generación de bitácoras



Fuente: Autoría propia.

A partir de la generación de las bitácoras, se procede a analizar el número de actividades ejecutadas determinando la probabilidad de control que lo generó. Dicho valor se asocia al comportamiento de la actividad, convirtiéndolo en un resultado de una regla de razonamiento.

Cabe aclarar que, durante la implementación, es necesario tener en cuenta que las 200 ejecuciones se realizan por cada uno de los procesos almacenados en el repositorio. De esta manera se puede aplicar un enfoque iterativo para las ejecuciones que demuestre el dinamismo y necesidad de adaptación del proceso ante diferentes situaciones.

El número de iteraciones definidas son como máximo tres. La primera iteración con valores por defecto, la segunda con flujos alternos y la tercera con valores salidos rango. Por ejemplo, para un proceso de 13 actividades, en la Tabla 5.2, se presenta las primeras 10 ejecuciones de las 200 realizadas en la primera iteración.

Tabla 5-2: Información asociada a una bitácora de ejecución

	Probabilidad 1	Probabilidad 2	Secuencia
Log-1	V	F	[A1... A10]
Log-2	V	F	[A1... A10]
Log-3	V	V	[A1... A12]
Log-4	V	F	[A1... A10]
Log-5	V	F	[A1... A10]
Log-6	F	F	[A1... A3]
Log-7	F	V	[A1... A3]
Log-8	V	V	[A1... A12]
Log-9	F	F	[A1... A3]
Log-10	V	F	[A1... A10]

5.1.4 Desarrollo de herramienta de gestión del método

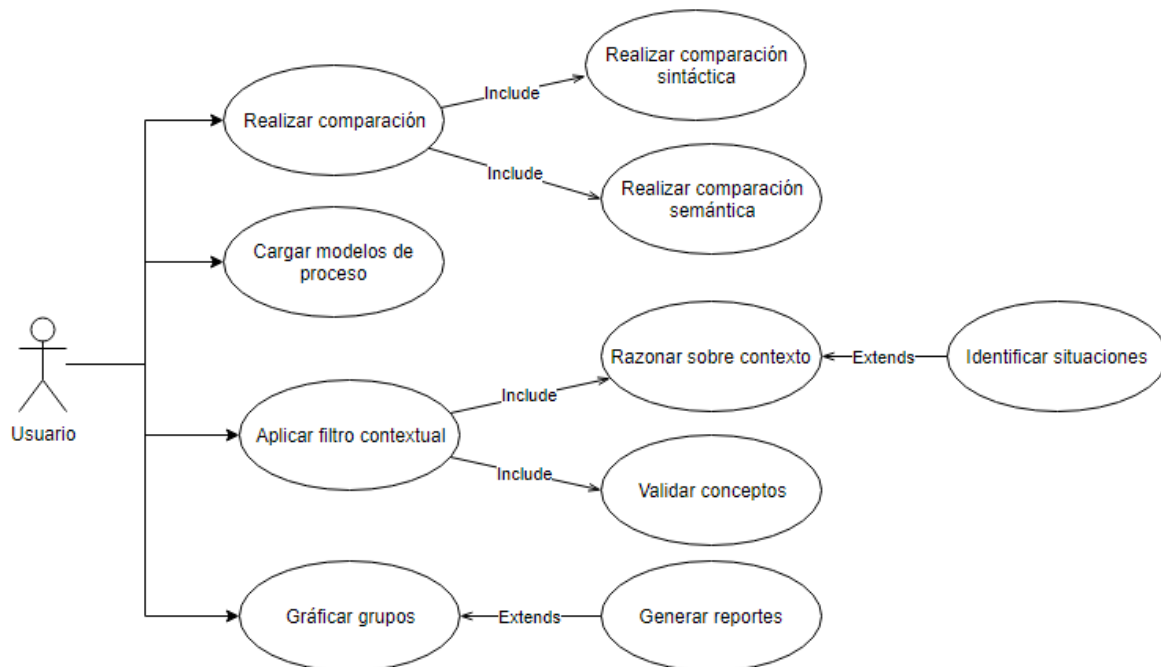
La herramienta de gestión principal permite la interacción con el usuario del sistema, así mismo controla el flujo principal del método de integración. Cabe aclarar, que el alcance de la herramienta es ser un prototipo funcional de validación, por ello no se empleó una rigurosa metodología para su desarrollo de software ni tampoco una herramienta comercial. La Figura 5-3 presenta el diagrama general de las funciones de la herramienta, su representación se plasma en un diagrama de casos de uso. Por su parte la Figura 5-4 y Figura 5-5 presentan el diagrama de clases y componentes respectivamente.

Para modelar las funciones básicas se emplean los casos de uso descritos en la notación UML versión 2.1. Los casos definidos son:

- **Casos de uso - Realizar Comparación:** Encargado de realizar la función de búsqueda y recuperación de variantes. Se apoya de las funciones de comparación sintáctica y semántica.

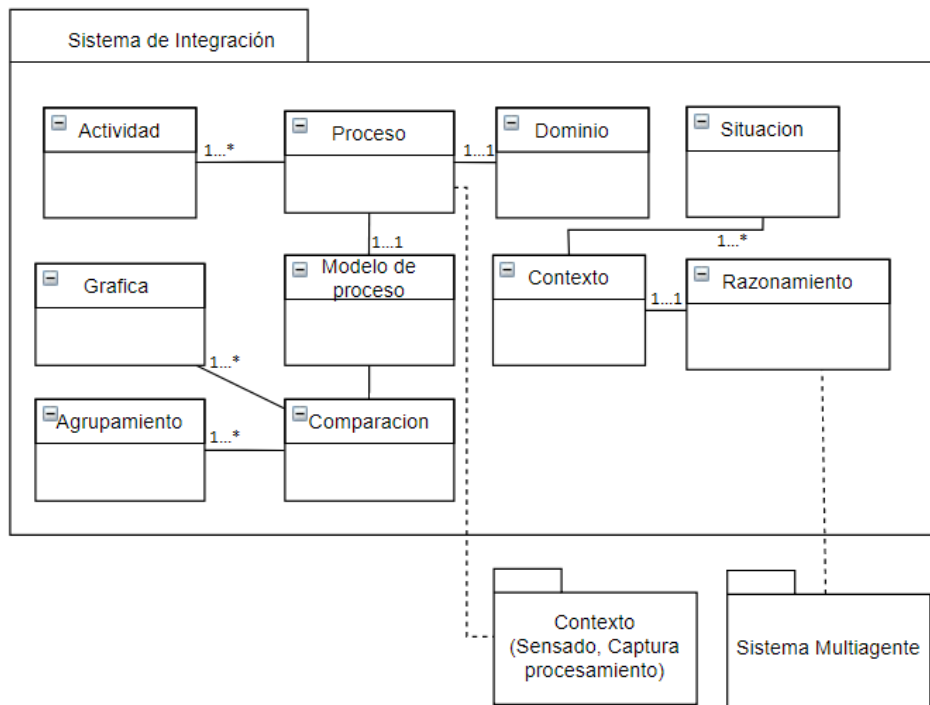
- **Caso de uso - Cargar modelos de procesos:** Encargado de la gestión de los modelos de procesos y de su registro en el repositorio local. La carga también implica la representación en grafos de estado.
- **Caso de uso – Aplicar filtro contextual:** Encargado del razonamiento inteligente, interacción con el SMA, así mismo aplica las reglas de inferencia sobre el contexto, permitiendo la generación de los grupos de integración.
- **Caso de uso – Generar reportes:** Las funciones asociadas a este caso de uso, se centran en el análisis de los resultados de la integración, para desplegar información al usuario. Dicha información identifica las causas de incluir o no a procesos para integrar.

Figura 5-3: Diagrama de casos de uso de la herramienta.



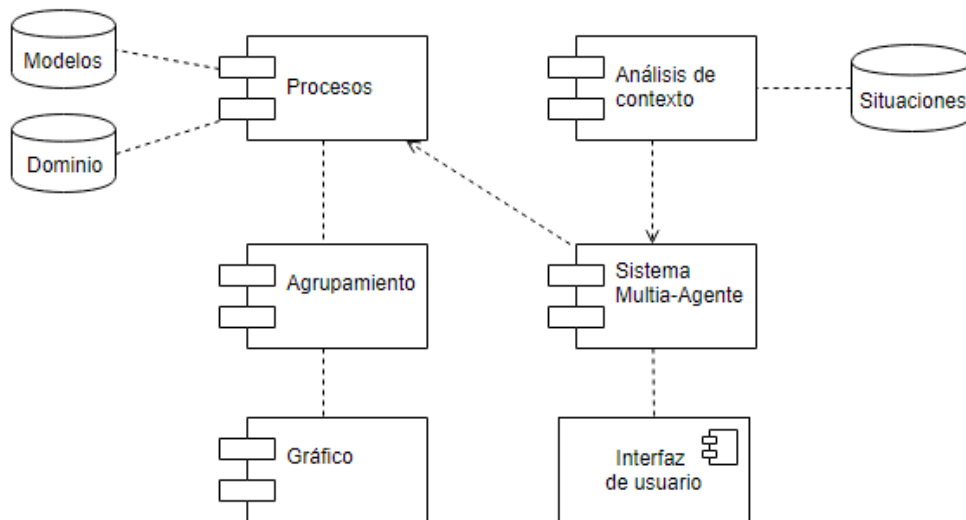
Fuente: Autoría propia.

Figura 5-4: Diagrama de casos de uso de la herramienta.



Fuente: Autoría propia.

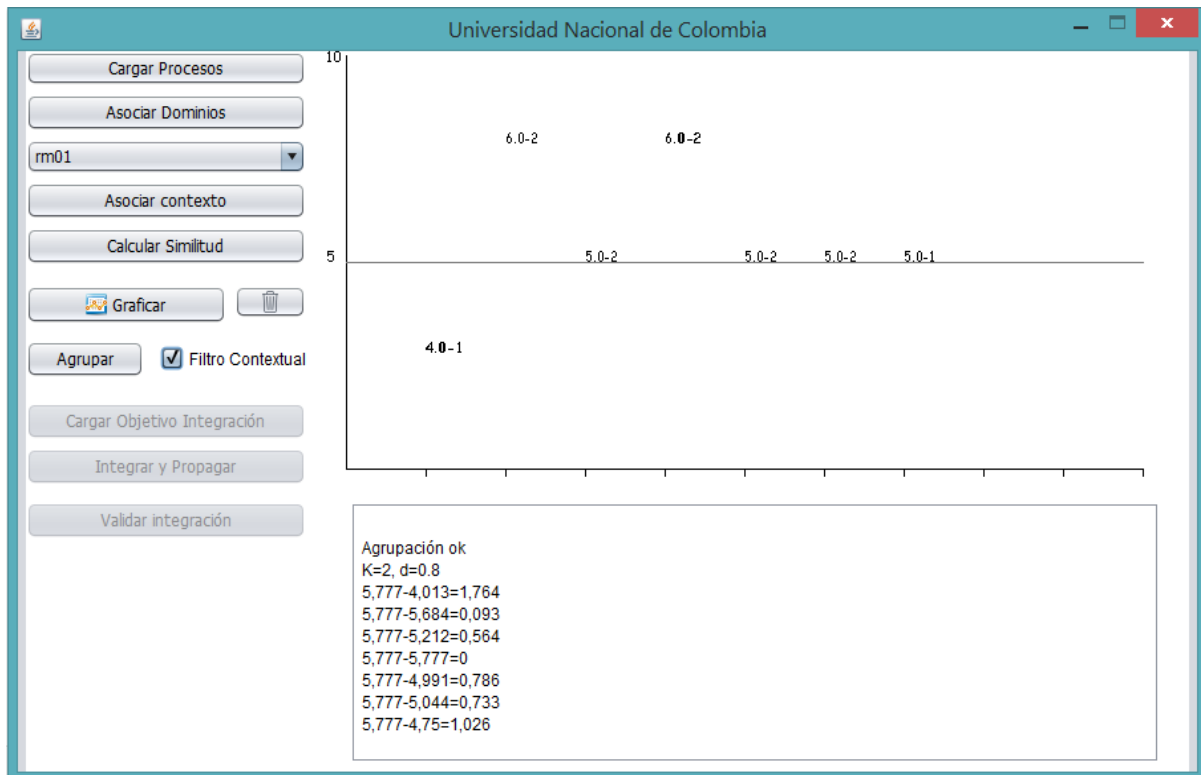
Figura 5-5: Diagrama de casos de uso de la herramienta.



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5-6 presenta la interfaz de control del método de integración. A la izquierda se presentan las distintas opciones que permiten automatizar cada una de las fases del método de integración propuesto. Existen dos áreas de reporte, la primera es de tipo gráfico, indicando los distintos comportamientos, la segunda por su parte presente los datos numéricos detallados.

Figura 5-4: Interfaz de herramienta desarrollada para gestión del método



Fuente: Autoría propia.

5.2 Evaluación del método de integración propuesto

La validación del método también busca verificar la hipótesis planteada, ya que con la captura de los datos, es posible determinar si el contexto afecta la integración de procesos de negocio. Con base en lo anterior, se describe la validación del método por medio de su aplicación en cuatro casos de estudio diseñados a seguir: Producción de café colombiano, autoevaluación académica en universidades, admisión a programas universitarios de posgrado y actualizaciones de currículos académicos. Inicialmente se describen cada una

de las capacidades a evaluar, las cuales representan las fortalezas del método, luego se describen las métricas para cada uno de los sistemas a evaluar.

Por último, se aplica el método de integración en cada uno de los casos de estudio definidos, dando paso al análisis resultados y valoración a través de las métricas. Finalmente se presenta un análisis del comportamiento del método en los cuatro casos de estudio.

5.2.1 Capacidades a evaluar

Las capacidades que evaluar del método propuesto son las siguientes:

- **Capacidad 1 - Gestión y representación de procesos:** Se busca determinar si los grafos representativos son coherentes con los modelos de procesos. Esta función se soporta por el sistema de gestión de procesos de la arquitectura.
- **Capacidad 2 - Búsqueda y recuperación:** Soportada por el sistema de automatización de la arquitectura. Se evalúa la precisión de encontrar las variantes relacionadas y la manera en que se priorizan por medio del algoritmo de agrupamiento.
- **Capacidad 3 - Integración y ejecución:** También está soportada por el sistema de automatización. Esta capacidad valida si el tamaño de la estructura es igual entre el proceso generado y el promedio de valores de las variantes.
- **Capacidad 4 - Razonamiento inteligente:** El sistema de integración genera y ejecuta el modelo de proceso integrado; se valida si el tamaño de la estructura es igual entre el proceso generado y el promedio de valores de las variantes. También se evalúa el tiempo promedio de ejecución y el grado de similitud.

5.2.2 Métricas de evaluación para la capacidad 1 - Gestión representación de procesos

a. **Métricas cuantitativas:** Thaler et al. (2016) a partir de un análisis a las técnicas de comparación de procesos, sugieren tener en cuenta la simetría, identidad y grado de similitud.

- **Simetría:** Emplea las matrices de adyacencia y de pesos, a partir de ello evalúa el número de conexiones y nodos construidos. Minor et al. (2007) proponen medir la simetría a partir de la diferencia en los valores absolutos de las estructuras. Los valores posibles para su evaluación están entre 0.0 y 1.0, indicando la proximidad entre el modelo de proceso de referencia y los grafos representados.
- **Identidad:** Evalúa si el flujo principal del proceso corresponde a la ruta de solución del grado, donde debe existir un orden de ejecución para actividades y nodos, así como la probabilidad de ejecución. Dijkman et al. (2009) sugieren que dos representaciones tienen un alto porcentaje de identidad cuando el orden de ejecución de sus actividades/nodos es igual a 1.0.
- **Grado de similitud:** Determina el grado de separación que tienen dos representaciones, la lógica de comparación se centra en su estructura (sintáctica) y su comportamiento (semántica) (Van et al., 2013). La estructura se centra en la comparación numérica, mientras la de comportamiento en el número de reglas, situaciones, eventos y restricciones que afectan la ejecución del proceso

b. Métricas cualitativas: Dijkman et al. (2009) propone las siguientes características a evaluar para un sistema de representación basado en grafos.

- **Generación:** Capacidad de validar y usar constantemente el modelo de referencia con el fin de garantizar la coherencia en el grafo resultante. Las etiquetas lingüísticas asociadas para su valoración son: *alta*, *media* y *baja*.

Una capacidad de generación de grafos representativos *alta* indica que se verifica paso a paso la consistencia de la estructura a partir de su modelo de referencia, así mismo genera grafos parciales, buscando la preservación de la estructura. Mientras una valoración *baja* indica que el proceso no es confiable debido a no existir evidencia de la interacción con el modelo de referencia.

- **Integridad de datos:** Capacidad de garantizar la consistencia de los datos con sus orígenes (fuentes físicas) y los dominios asociados. Así mismo identifica equivalencia y repetición de datos. Las etiquetas lingüísticas asociadas para su

valoración son: *alto, medio y bajo*. Un sistema con un alto grado en la integridad de datos, indica que garantiza la confiabilidad y disponibilidad de estos.

5.2.3 Métricas de evaluación para la capacidad 2 - Búsqueda y recuperación

a. Métricas cuantitativas: La Rosa et al. (2015) destacan el criterio de precisión y recuperación (*precision and recall*) como métricas importantes para determinar el comportamiento conceptual de un proceso.

- **Precisión:** Indica el número elementos relevantes a partir del conjunto de los elementos recuperados.
- **Recuperación:** Determina el número de elementos relevantes que son recuperados. Junto con la *Precisión* se calcula el valor de la métrica F; la cual sirve para dar un grado de proximidad entre la precisión y recuperación.
- **Agrupamiento:** Se determina la calidad del agrupamiento empleando la variable *tamaño* de grupo. Así mismo se considera conceptualmente si el número de elementos es coherente con la categoría de tamaño, también se calcula el costo de generación de grupos, a partir del número de elementos (Awad & Sakr, 2012)

b. Métricas cualitativas: Estos criterios buscan analizar la respuesta del sistema desde un punto de vista estructural, teniendo en cuenta el diseño de la arquitectura tecnológica definida que da soporte a la funcionalidad de búsqueda y recuperación.

Con base en lo anterior, según Dijkman et. al, (2011) se deben tener en cuenta los siguientes criterios para la evaluación de una arquitectura orientada a procesos de negocio: La alineación o capacidad de acoplarse, la cohesión asociada y la capacidad de preservar la integridad de datos una vez acoplados.

- **Complejidad:** Se define en términos de la cohesión y acoplamiento de los elementos de la arquitectura. Las etiquetas lingüísticas asociadas para su valoración son: *alta, media y baja*.

- **Alineación:** Capacidad de identificar características similares y diferencias entre dos procesos. Las diferencias se marcan como caminos alternos en el grafo. Adicionalmente los pesos de dichos caminos afectan la alineación. Las etiquetas lingüísticas asociadas para su valoración son: *alta, media y baja*.
- **Integridad de datos:** A diferencia del criterio de evaluación descrito para el sub-sistema de representación, la integridad de los datos en la búsqueda valida la pertenencia al dominio de ejecución. Se hace uso de la propiedad de reflexión e inyección de dependencias.

5.2.4 Métricas de evaluación para la capacidad 3 - Integración y ejecución

a. Métricas cuantitativas: El valor característico que adoptan los criterios, es el de *grado de proximidad*, Liu et al. (2015) proponen que el valor tomado sea [0.0-1.0].

- **Tamaño estructura:** Cuando se ejecutan una gran cantidad de variantes y sus respectivas instancias, el tamaño (nodos o actividades) influye en el rendimiento del proceso. El tamaño se determina identificando aquellos nodos no duplicados.
- **Promedio de ejecución:** Marca la diferencia entre el tiempo promedio de las variantes y el tiempo del *modelo de proceso integrado*.

b. Métricas cualitativas: La Rosa et. al, (2015), propone medir un procedimiento de consolidación (*merging*) procesos en términos de complejidad. Así mismo, se evalúa la capacidad de capturar información del contexto y su adaptación a dicha información.

- **Complejidad:** Determina el número de interacciones realizadas entre los componentes del sistema.
- **Sensibilidad al contexto:** El sistema constantemente valida las situaciones presenten y compara la información del proceso y su dominio. Los sensores de captura son dinámicos y están integrados al método.
- **Adaptación:** La adaptación se refleja en la repetición de fases con el fin de mejorar los resultados. Sin embargo, las decisiones carecen de aprendizaje. Las etiquetas

lingüísticas para su evaluación son: *alta*, *media* y *baja*. Una adaptación *alta* indica que el sistema considera repetir las fases del método, pues los resultados no son los apropiados. Por su parte una adaptación *baja* representa que método obtuvo los mismos resultados durante muchas iteraciones.

5.2.5 Métricas de evaluación para la capacidad 4 - Razonamiento inteligente

a. Métricas cuantitativas: El valor característico que adoptan los criterios, es el de *grado de proximidad*.

- **Fases del método:** Se evalúa la proximidad de las variantes procesadas en cada una de las fases respecto a una estimación previamente ingresada.
- **Similitud Contextual:** Indica el grado de proximidad entre dos representaciones, teniendo en cuenta la similitud sintáctica y semántica, adicionando el valor de las alertas contextuales identificadas respecto a los conceptos etiquetados. Poizat et al. (2016) indican que la comparación de flujos de variantes refleja por sí mismo un estado de evolución.
- **Correctitud:** Determina si los datos, pesos y grados de similitud en todo el proceso, es coherente con valores definidos para el método. Wu et al. (2016) sugieren que la correctitud se asocie al cumplimiento de las reglas organizacional y operacionales definidas.
- **Tiempo razonamiento:** Indica el tiempo delta de ejecución del mecanismo de razonamiento. Dicho criterio puede ser utilizado para el diseño de técnicas de mejoramiento de rendimiento.

b. Métricas cualitativas: Se toma como base los criterios propuestos por Sajja & Akerkar, (2012) para la valoración de sistemas inteligentes.

- **Ubicuidad:** El sistema solo se ejecuta en un ambiente tipo web. Sin embargo, sus sensores virtuales se caracterizan por ser heterogéneos y modulares.

- **Razonamiento sobre el dominio:** Se identifican los conceptos por medio de ontologías de dominio. La población de instancias y rendimiento de la ontología dependen de la ejecución de los procesos en ambientes reales.
- **Razonamiento sobre el contexto:** Se identifican situaciones asociadas a etiquetas contextuales. Se detectan conceptos similares en dominios diferentes, sin embargo, no se tiene una inferencia diseñada.
- **Adaptación:** La adaptación se refleja en la decisión si se debe repetir o no una determinada fase del método, con el fin de mejorar los resultados. Sin embargo, las decisiones carecen de aprendizaje.

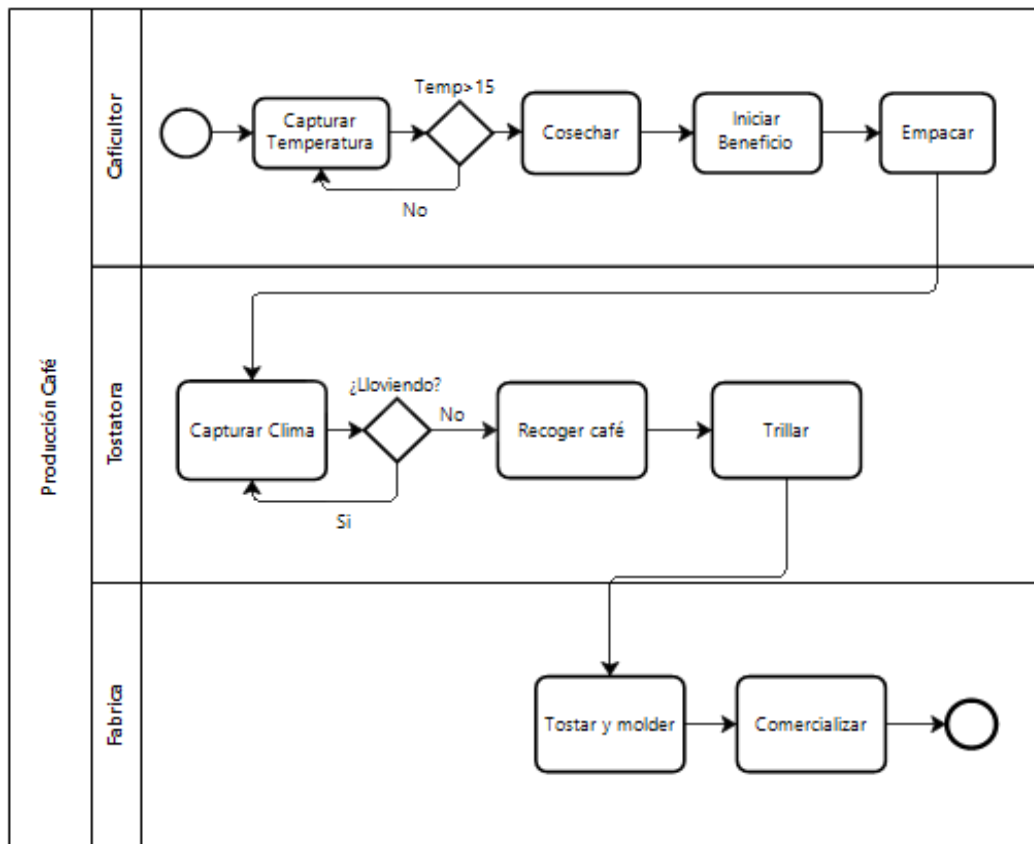
5.3 Validación del método en el caso de estudio 1- Producción de café

Esta sección detalla la aplicación del método en el caso de estudio de producción de café colombiano.

5.3.1 Descripción del caso de estudio 1

El proceso hace referencia a la producción de café colombiano, desde su cosecha hasta su comercialización. Comprende 13 actividades y 3 actores. Las variables prioritarias para el proceso son la temperatura y el clima. Sin embargo, dependiendo de la zona geográfica, dichos valores pueden cambiar.

Se manejan 2 estructuras de control, la primera de ellas se define de manera virtual, para efectos de validación de la temperatura simulada y la segunda captura la información de un sistema externo de gestión del clima. La Figura 5-7 presenta el diagrama del proceso en notación BPMN.

Figura 5-5: Diagrama de procesos de Producción de Café

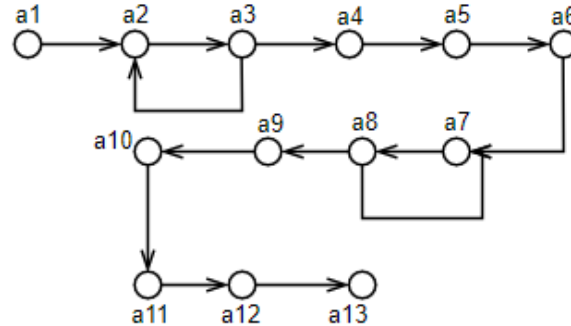
Fuente: Autoría propia.

5.3.2 Aplicación del método al caso de estudio 1

Fase 1- Definición de objetivo de integración: Esta fase tiene como eje principal la generación de grafos representativos que faciliten la identificación de los cambios a aplicar.

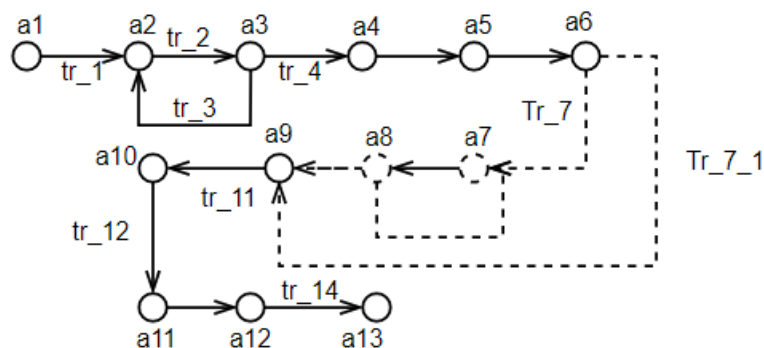
Generación del grafo representativo: La Figura 5-8 y 5-9 muestran los grafos generados del modelo de referencia y el objetivo de integración respectivamente.

Se observa que actividades, estructuras de control y puntos de inicio/fin, se consideran vértices para el grafo.

Figura 5-6: Grafo Generado para el modelo de referencia

Fuente: Autoría propia.

Para el caso del objetivo de integración (ver Figura 5-7) se identifican los cambios a realizar por medio de las aristas con estilo punteado. El algoritmo de construcción, valida los elementos existentes y los elementos que no.

Figura 5-7: Grafo Generado para el objetivo de integración.

Fuente: Autoría propia.

Con base en lo anterior, el objetivo de integración para el caso de estudio es: Actualizar la estructura del proceso en actividad a7, a8 asociando un evento de eliminación y los vértices y aristas que estas inciden. Asociar un evento de adición para la continuidad del proceso, es decir entre vértice a6 y a9.

Otro posible objetivo de integración ligado al comportamiento, más que su estructura puede ser: Actualizar comportamiento de la actividad con id="4" y nombre=" cosechar", tal que el dato de ingreso a la actividad incrementa en 1. Es decir que regla operacional asociada es regla=" temp>16".

Identificación de cambios. Con base en los grafos generados, se procede a identificar los cambios a propagar en las variantes. Dicha identificación se realiza mediante un procedimiento de comparación de estructura de los grafos, arrojando los datos de la Tabla 5-3.

Tabla 5-3: Cambios identificados para caso de estudio

Elementos con Evento de Adición	Elementos con Evento de Eliminación	Elementos con Actualización en comportamiento
(tr7,tr7_1)	a7, a8 , tr7, tr8, tr9	nulo

Fase 2 – Búsqueda y recuperación de variantes: Las variantes se gestionan mediante la creación por medio de grafos, identificación de diferencias, búsqueda, comparación y priorización.

Datos asociados a las variantes: En la Tabla 5-4 se presenta el conjunto de variantes, diferenciadas por su código, aquellas que inician con VC se consideran variantes por configuración y las que inician con VP son variantes por petición. En total el caso de estudio considera cinco variantes.

Tabla 5.4: Variantes definidas para caso de estudio

Código	Tipo	Particip.	Actividades	Gateways	Transiciones
vc_01_rm03	configuración	3	14	2	15
vc_02_rm03	configuración.	3	13	2	13
vc_03_rm03	configuración.	3	13	2	13
vc_04_rm03	configuración.	3	13	2	13
vp_01_rm03	Petición	3	11	1	13

Recuperación y ordenamiento: La búsqueda de las variantes se hace a partir del dominio de ejecución, la comparación estructural y semántica de las variantes frente a su modelo de referencia. Una vez se obtienen las variantes recuperadas, el método se realiza una

nueva comparación teniendo en cuenta el grado de proximidad con el objetivo de integración. No obstante, dicha comparación tiene en cuenta la información contextual, de esta manera se priorizan las variantes a integrar.

El ordenamiento de las variantes se apoya del módulo de ejecución, pues para cada una de las iteraciones de ejecución se genera un orden, a medida que las ejecuciones e iteraciones avanzan, aleatoriamente se cambia la información de las situaciones, lo que conlleva a generar alertas contextuales y afectar el orden de ejecución.

La Tabla 5-5 consolida el orden en cada una de las iteraciones definidas. Se evidencia que la variante con código **vc_03_rm03** en la primera iteración no genera una alerta contextual, mientras en la segunda iteración se detecta la alerta, debido al cambio de ubicación de la variante.

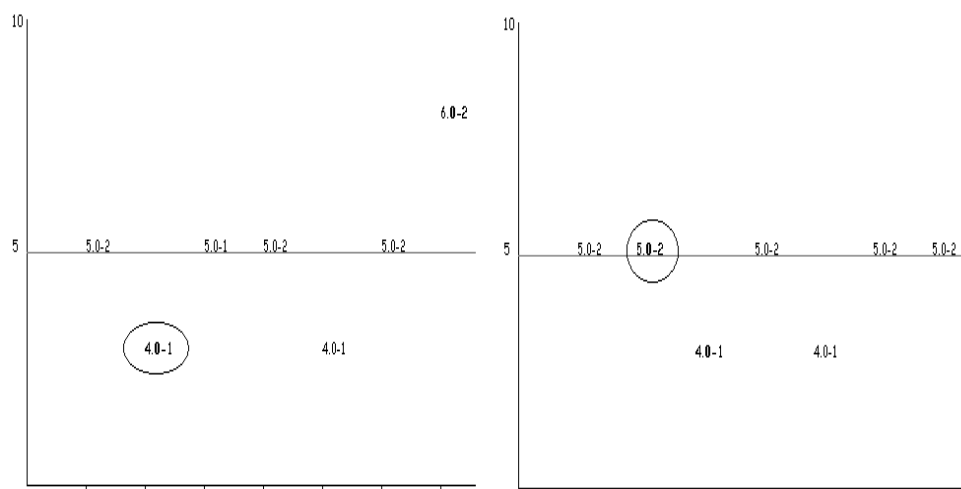
Tabla 5-5: Orden de cada iteración

<i>Iteración</i>	<i>Orden</i>	<i>Alerta contextual</i>	<i>Variantes a integrar</i>	<i>Variantes a NO integrar</i>
1	vc_01_rm03 vc_02_rm03 vc_03_rm03 vc_04_rm03 vc_05_rm03 vp_01_rm03	0	6	0
2	vc_01_rm03 vc_02_rm03 vp_01_rm03. vc_03_rm03 vc_04_rm03 vc_05_rm03	1	5	1
3	vc_01_rm03 vc_02_rm03 vp_01_rm03. vc_04_rm03 vc_05_rm03 vc_03_rm03	1	5	1

Parte del resultado anterior se da gracias al agrupamiento de procesos a partir de los valores que indican la similitud. En la Figura 5-10 se presenta la agrupación de los procesos después de las ejecuciones e iteraciones respectivas. Se resalta la existencia de un proceso identificado cuando cambia de grupo, sin embargo, sigue conservando valores cercanos hacia el otro grupo.

La nomenclatura indica el valor tomado y el grupo al cual pertenece, separados por un guion. Lo anterior indica la necesidad de la intervención subjetiva del usuario del sistema, para tomar la decisión si se aplica o no un cambio sobre dicho proceso, teniendo en cuenta posibles situaciones o información que aún el sistema contenga.

Figura 5-8: Datos de variantes de proceso de referencia de Producción de café

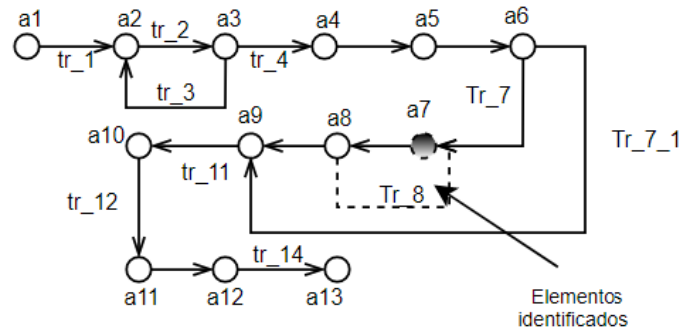


Fuente: Autoría propia.

Fase 3 – Integración: En esta fase se genera el modelo de proceso integrado. Desde el punto de vista de grafos significa realizar una alineación de cada una de sus matrices de adyacencia correspondiente e identificar aquellos elementos afectados por las alertas contextuales.

La Figura 5-11 presenta el grafo resultante, se indica con relleno gris aquellos vértices afectados por alertas contextuales.

Figura 5-9: Grafo Generado para el modelo de procedo integrado



Fuente: Autoría propia.

Fase 4 – Propagación y ejecución: En esta fase se determina si las restricciones no afectan los elementos identificados, es por ellos la función principal es la aplicación de cambios a partir de la verificación de restricciones. Básicamente se identifican las incompatibilidades en cuanto a ejecución, estructura y comportamiento.

El sistema por tanto se encarga de la toma de decisión en cuanto a reemplazar los modelos de proceso de las variantes integradas por el nuevo modelo de proceso generado. La Tabla 5-6 presenta el resultado en cada una de las iteraciones.

Tabla 5-6: Recomendaciones del sistema de propagación y ejecución

<i>Iteración</i>	<i>variantes</i>	<i>Decisión</i>
1	5	Reemplazar
2	5	Reemplazar
3	4	No Reemplazar

5.3.3 Evaluación basada en métricas para el caso de estudio 1

Se presenta los resultados de la valoración cuantitativa y cualitativa obtenida, para cada una de las capacidades definidas.

- **Evaluación de la capacidad 1- Gestión y representación de procesos**

La Tabla 5-7 presenta el valor de cada una de las métricas seleccionadas. Se observa un posible incremento de los valores a medida que transcurren las iteraciones.

Tabla 5-7: Información asociada con evaluación cuantitativa

Iteración	Métrica		
	Simetría	Identidad	Grado de Similitud
1	0.73	0.78	0.78
2	0.85	0.83	0.88
3	0.86	0.83	0.91

En cuanto a la evaluación cualitativa, en la Tabla 5-8 se presentan las valoraciones obtenidas, con cada una de sus justificaciones.

Tabla 5-8: Información asociada con la validación cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Generación del grafo	Alta	Usa, valida constantemente el modelo de referencia con los grafos generados.
Integridad de datos	Alta	Identifica orígenes de datos. Identifica valores duplicados en dominios.
Sensibilidad al contexto	Media-Alta	Detecta situaciones relacionadas con el método. Sin embargo, la precisión decae debido a presencia de varios dominios.

- **Evaluación de la capacidad 2 - Búsqueda y recuperación**

La Tabla 5-9 se presenta un comparativo de resultados para la búsqueda y recuperación sin tener en cuenta el contexto y aplicándolo como filtro a los resultados. Durante las iteraciones el método tiende a llegar a valores cercanos a 1.0.

Por su parte la Tabla 5-10 presenta las valoraciones para los procedimientos de agrupamiento, se dan valores esperados y se calcula su proximidad con el valor general. Así mismo, el costo generado se valora de acuerdo con su proximidad a la predicción definida.

Tabla 5-9: Información asociada a la búsqueda y recuperación

Iteración	Búsqueda y recuperación				Filtro contextual aplicado			
	Prec	Rec	Total	F	Prec	Rec	Total	F
1	0.83	0.86	0.81	4.0	0.93	0.92	0.9	4.0
2	0.92	0.91	0.91	4.5	0.91	0.92	0.91	4.5

3	0.86	0.86	0.86	4.0	0.87	0.92	0.91	4.4
---	------	------	------	-----	------	------	------	-----

Tabla 5-10: Información asociada valoración cuantitativa - Agrupamiento

Iteración	Tamaño definido	Elementos por tamaño	Sumatoria de costos
1	1.0	1.0	1.0
2	1.0	1.0	1.0
3	0.91	0.95	1.0

La Tabla 5-11 presenta la valoración cualitativa de la capacidad de búsqueda y recuperación. El sistema en general tiene un buen desempeño, ya que la precisión de la selección de las variantes es bastante buena. Sin embargo, la complejidad indica posibilidades de mejora.

Tabla 5-11: Información asociada con la valoración cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Alineación (Sin-Sem)	Alta	El sistema identifica características similares y diferentes. Al momento de detectar vulnerabilidades, descarta el individuo y los clasifica como NC (No Clasificado)
Integridad de datos	Alta	El sistema valida el tipo de datos, dominio, rangos y semántica asociada durante la comparación. Cuando se detectan incompatibilidades en formatos genera un registro para el reporte final. Dejando la decisión de continuar con el método al usuario del sistema.
Complejidad	Alta	El sistema tiene complejidad alta debido al formato de datos empleado. La estructura aún no considera un enfoque basado en buses de datos que eviten la concurrencia a procedimientos.

- **Evaluación de la capacidad 3 - Integración y ejecución**

En la Tabla 5-12 se consolida los valores obtenidos en cada iteración en cada métrica seleccionada. El método presenta un buen rendimiento en la integración de procesos, así como en el tiempo que se toma. La sumatoria de los costos se contrasta frente a un valor óptimo igual a 1.0.

Tabla 5-12: Información asociada a la valoración cuantitativa

Iteración	Tamaño definido	Precisión en el tiempo	Sumatoria de costos
1	1.0	1.0	0.95
2	1.0	0.91	0.95
3	1.0	0.92	1.0

Por su parte la información cualitativa de la Tabla 5-13, se evidencia una posibilidad de mejora en cuando a la complejidad y adaptación. Las cuales pueden ser mejoradas a partir del uso de técnicas de aprendizaje.

Tabla 5-13: Información asociada con la valoración cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Complejidad	Media-Alta	La integración y ejecución no tiene un diseño óptimo modular.
Sensibilidad al contexto	Alta	El sistema constantemente valida las situaciones y compara la información del proceso y su dominio. Los sensores de captura son dinámicos y están integrados al método.
Adaptación	Media-Alta	La adaptación se refleja en la repetición de fases con el fin de mejorar los resultados. Sin embargo, las decisiones carecen de algoritmos complementarios.

- **Evaluación de la capacidad 4 - Razonamiento inteligente**

En la Tabla 5-14 se agrupan los datos relacionados con las métricas para evaluar un sistema inteligente. Es evidencia que el tiempo va mejorando a medida que la información histórica y el contexto entran a complementar el sistema.

Tabla 5-14: Información asociada a la valoración cuantitativa

Iteración	Fases del método	Precisión Sim. Contextual	Correctitud	Tiempo razonamiento	Tiempo razónamiento. (doble variantes)
1	1.0	0.87	0.95	3000 ms	3000 ms
2	0.66	0.78	0.95	2800 ms	2800ms
3	0.84	0.88	1.0	2500 ms	2500 ms

En cuanto a la valoración cualitativa, el sistema presenta buen desempeño, ya que la información que arroja como parte de los reportes, ofrecen un apoyo confiable para la toma de decisiones.

Tabla 5-15: Información asociada a la valoración cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Ubicuidad	Alta	El sistema solo se ejecuta en un ambiente tipo web. Sin embargo, sus sensores virtuales se caracterizan por ser heterogéneos y modulares.
Razonamiento sobre dominio	Media-alta	Se identifican los conceptos por medio de ontologías de dominio. La población de instancias y rendimiento de la ontología dependen de la ejecución de los procesos en ambientes reales.
Razonamiento contexto	Media-Alta	Se identifican situaciones asociadas a etiquetas contextuales. Se detectan conceptos similares en dominios diferentes, sin embargo, no se tiene una inferencia diseñada.
Adaptación	Alta	La adaptación se refleja en la repetición de fases con el fin de mejorar los resultados. Sin embargo, las decisiones carecen de aprendizaje.

5.3.4 Discusión de resultados para el caso de estudio 1

Después de evaluar el desempeño del método en el caso de estudio 1 – Producción de café, se presenta el siguiente análisis.

- La capacidad 1 – Gestión y representación, en sus valores cuantitativos presenta una tendencia a mejorar la precisión en los resultados de las métricas de simetría, identidad y grado de similitud. La causa posible se debe a que para el caso de estudio no es muy común el cambio de temperatura lo que evita la generación de bitácoras de ejecución diferentes.

Por su parte los valores cualitativos tienen en promedio un alto desempeño, ya que las estructuras y datos generados en las tres iteraciones, se definen de manera correcta. Sin embargo, en la métrica relacionada con la sensibilidad al contexto, el método no identifica

de manera identifica de manera apropiada los elementos contextuales, debido a la variedad de dominios dentro de la colección de procesos.

- En cuanto a la capacidad 2 – Búsqueda y recuperación, para los algoritmos de búsqueda, recuperación y agrupamiento, presentan resultados satisfactorios en sus valores cuantitativos, todo ello por el apoyo de las ontologías de dominio y contexto. Las valoraciones cualitativas se comportan de manera general correcta, sin embargo, la complejidad del método debe ser revisada y mejorada a partir de algoritmos de concurrencia de datos, que mejoren el rendimiento y disminuyan la complejidad.
- Para la capacidad 3 – Integración y ejecución, mejora en su desempeño, lo cual se debe a que los procedimientos de alineación, ejecución, simulación y regresión se implementan sobre la base de un esquema y adicionalmente toman como insumo los datos arrojados en la fase 2 del método (búsqueda y recuperación).

En cuanto a la valoración cualitativa el método presenta un desempeño aceptable, ya que la complejidad y adaptación pueden mejorar, ya que los procedimientos diseñados son básicos y pueden complementarse con un óptimo diseño y algoritmos para la gestión de grandes volúmenes de datos.

- Para las métricas asociadas a la capacidad 4 – Razonamiento inteligente, el método se valora cuantitativamente en un desempeño bueno, pero no óptimo.

La causa principal, se debe a la carencia de métodos de aprendizaje supervisado, que optimicen el manejo de históricos. Por tanto, el método evidencia un desempeño aceptable en su rendimiento.

Por su parte las métricas asociadas con los valores cualitativos presentan resultados satisfactorios, ya que las reglas de razonamiento y la base de conocimientos, trabajan correctamente debido a la formalización propuesta. Así mismo, la representación semántica mejora la representación y razonamiento sobre las representaciones hechas.

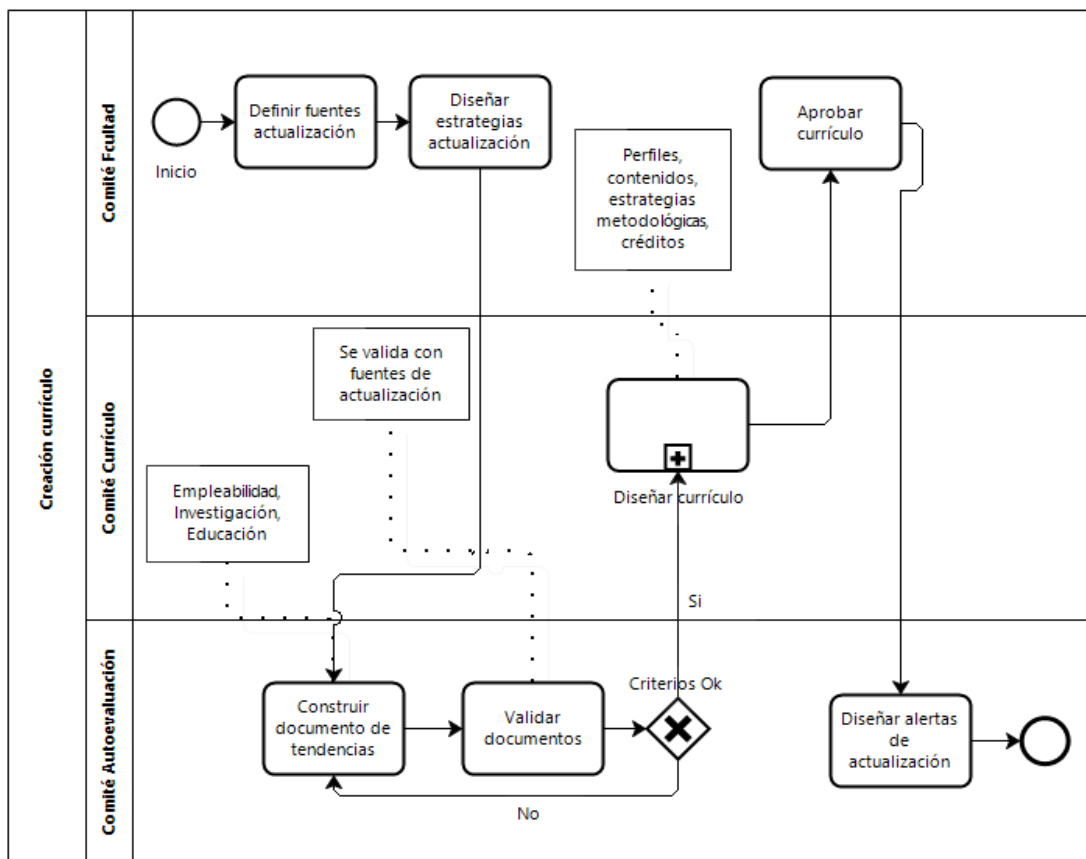
5.4 Validación del método en el caso de estudio 2- Diseño de currículum

Esta sección detalla la aplicación del método en el caso de estudio de diseño de un currículum académico en programas universitarios de pregrado.

5.4.1 Descripción del caso de estudio 2

La Figura 5-12 presenta el diagrama general del proceso, diseño de currículum. El proceso hace referencia a los pasos para diseñar un currículum en una universidad. Comprende 10 actividades y 3 actores. Las variables prioritarias que gestionar por el contexto son validación documental y la aprobación del currículum.

Figura 5-10: Diagrama de procesos de diseño de currículum



Fuente: Autoría propia.

La validación documental depende de los criterios de aprobación, los cuales varían de acuerdo con la institución, la fecha asociada y la personas que intervienen en la decisión que lo realiza.

En términos de personal, las competencias pueden ser reemplazadas, con base en la experiencia de sus integrantes.

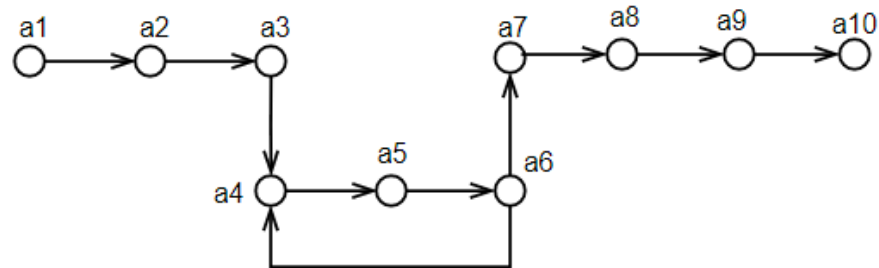
Por su parte la aprobación del currículo, por parte del Consejo de Facultad, depende de la competencia de sus individuos, ya que, en algunos casos debido a sus sistemas de conformación, se deben asignar asesores con experiencia.

5.4.2 Aplicación del método al caso de estudio 2

Fase 1- Definición de objetivo de integración: A continuación, se presentan el grafo generado, el objetivo de integración definido y los cambios detectados.

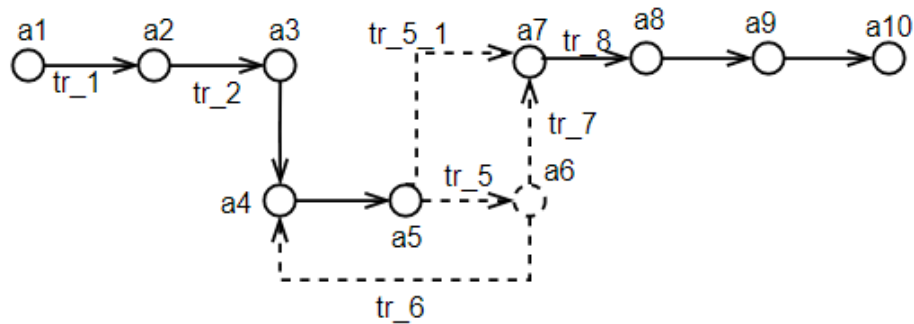
- **Generación del grafo representativo:**

Figura 5-11: Grafo Generado para el modelo de referencia



Fuente: Autoría propia.

Para el caso del objetivo de integración (ver Figura 5-14) se identifican los cambios a realizar por medio de las aristas con estilo punteado.

Figura 5-12: Grafo Generado para objetivo de integración.

Fuente: Autoría propia.

Por tanto, el objetivo de integración es: Actualizar la estructura del proceso en actividad a6 asociando un evento de eliminación junto con las aristas que lo inciden. Asociar un evento de adición para la continuidad del proceso, es decir una arista entre vértice a5 y a7.

Identificación de cambios. La Tabla 5-16 presenta la matriz representativa de los cambios identificados en el modelo de proceso.

Tabla 5-16: Cambios identificados para caso de estudio

<i>Elementos con Evento de Adición</i>	<i>Elementos con Evento de Eliminación</i>	<i>Elementos con Actualización en comportamiento</i>
(tr7, tr7_1)	a6, tr5, tr6, tr7	nulo

Fase 2 – Búsqueda y recuperación de variantes: Se presenta a continuación las variantes asociadas y el resultado de la recuperación de las mismas.

Datos asociados a las variantes: En la Tabla 5-17 se presenta el conjunto de variantes, diferenciadas por su código, aquellas que inician con VC se consideran variantes por configuración y las que inician con VP son variantes por petición. En total el caso de estudio considera cinco variantes.

Tabla 5-17: Variantes definidas para caso de estudio

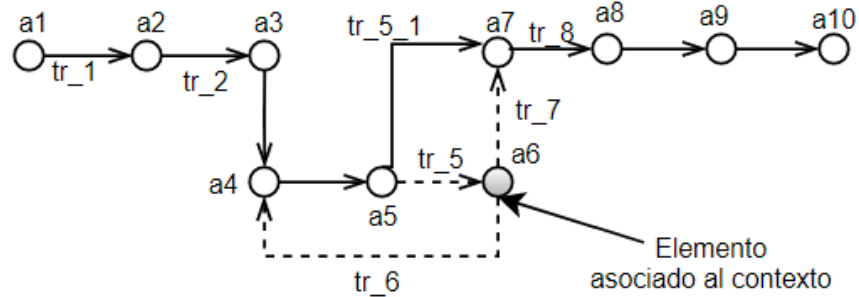
código	tipo	particip.	actividades	gateways	transiciones
vc_01_rm01	configuración	3	10	1	11
vc_02_rm01	configuración.	3	10	1	11
vc_03_rm01	configuración.	3	10	1	11
vc_04_rm01	configuración.	3	10	1	11
vp_01_rm01	petición	3	8	0	9
vp_02_rm01	petición	3	8	0	9
vp_03_rm01	petición	3	8	0	9

Recuperación y ordenamiento: La Tabla 5-18 consolida el orden en cada una de las iteraciones definidas.

Tabla 5-18: Orden de cada iteración

Iteración	Orden	Alerta contextual	Variantes a integrar	Variantes a NO integrar
1	vc_03_rm01 vc_04_rm01 vp_03_rm01 vc_01_rm01 vc_02_rm01 vc_01_rm01 vp_02_rm01	1	6	1
2	vc_03_rm01 vc_04_rm01 vp_03_rm01 vc_01_rm01 vc_01_rm01 vp_02_rm01 vc_02_rm01	2	4	2
3	vc_03_rm01 vc_04_rm01 vc_01_rm01 vc_01_rm01 vp_02_rm01 vp_03_rm01 vc_02_rm01	2	4	2

Fase 3 – Integración: En esta fase se genera el modelo de proceso integrado. La Figura 5-15 presenta el grafo resultante, se indica con relleno gris aquellos vértices afectados por alertas contextuales.

Figura 5-13: Grafo Generado para el modelo de procedo integrado

Fuente: Autoría propia.

Fase 4 – Propagación y ejecución: La Tabla 5-19 presenta el resultado en cada una de las iteraciones.

Tabla 5-19: Recomendaciones del sistema de propagación y ejecución

Iteración	Variantes	Decisión
1	6	No Reemplazar
2	5	No Reemplazar
3	5	No Reemplazar

5.4.3 Evaluación basada en métricas para el caso de estudio 2

Se presenta los resultados de la evaluación cuantitativa y cualitativa obtenida, para cada una de las capacidades definidas.

- **Evaluación de la capacidad 1 – Gestión y representación**

Las Tablas 5-20 presenta la información de la valoración cuantitativa, una vez ejecutas las tres iteraciones definidas. En cuanto a la evaluación cualitativa, en la Tabla 5-21 se presentan las valoraciones obtenidas, con cada una de sus justificaciones.

Tabla 5-20: Información asociada con evaluación cuantitativa

Iteración	Métrica		
	Simetría	Identidad	Grado de Similitud
1	0.75	0.83	0.86
2	0.75	0.84	0.88
3	0.75	0.84	0.88

Tabla 5-21: Información asociada con la validación cuantitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Generación del grafo	Alta	Usa, valida constantemente el modelo de referencia con los grafos generados.
Integridad de datos	Media-Alta	Identifica orígenes de datos. Identifica valores duplicados en dominios.
Sensibilidad al contexto	Alta	Detecta situaciones relacionadas con el método.

- **Evaluación de la capacidad 2 - Búsqueda y recuperación**

La Tabla 5-22 se presenta un comparativo de resultados para la búsqueda y recuperación sin tener en cuenta el contexto y aplicándolo como filtro a los resultados. Por su parte la Tabla 5-23 consolida la información del procedimiento de agrupamiento.

Tabla 5-22: Información asociada a la búsqueda y recuperación

Iteración	Búsqueda y recuperación				Filtro contextual aplicado			
	Prec	Rec	Total	F	Prec	Rec	Total	F
1	0.91	0.85	0.88	4.0	0.95	0.91	0.9	4.0
2	0.93	0.85	0.89	4.5	0.95	0.91	0.9	4.5
3	0.93	0.87	0.88	4.0	0.95	0.91	0.9	4.4

Tabla 5-23: Información asociada agrupamiento

Iteración	Tamaño definido	Elementos por tamaño	Sumatoria de costos
1	0.96	0.85	0.85
2	0.96	0.85	0.87
3	0.96	0.93	0.87

La Tabla 5-24 presenta la valoración cualitativa de la capacidad de búsqueda y recuperación.

Tabla 5-24: Información asociada con la valoración cuantitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Alineación (Sin-Sem)	Alta	El sistema identifica características similares y diferentes.
Integridad de datos	Alta	El sistema valida el tipo de datos, dominio, rangos y semántica asociada durante la comparación. Se registrar incompatibilidades.
Complejidad	Baja	El sistema tiene complejidad baja debido a la facilidad en análisis y procesamiento de los soportes documentales asociados.

- **Evaluación de la capacidad 3 - Integración y ejecución**

En la Tabla 5-25 se consolida los valores obtenidos en cada iteración en cada métrica seleccionada. Por su parte la información cualitativa de la Tabla 5-26, se evidencia el mismo comportamiento del caso de estudio anterior.

Tabla 5-25: Información asociada a la integración y ejecución

Iteración	Tamaño definido	Precisión en el tiempo	Sumatoria de costos
1	1.0	1.0	0.95
2	1.0	0.91	0.95
3	1.0	0.91	1.0

Tabla 5.26: Información asociada con la validación cuantitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Complejidad	Media-Alta	La integración y ejecución no tiene un diseño óptimo modular.
Sensibilidad al contexto	Alta	El sistema constantemente valida las situaciones y compara la información del proceso y su dominio. Los sensores de captura son dinámicos y están integrados al método.

Adaptación	baja	La adaptación se refleja en la repetición de fases con el fin de mejorar los resultados. Sin embargo, las decisiones carecen de aprendizaje.
------------	------	--

- **Evaluación de la capacidad 4 - Razonamiento inteligente**

En la Tabla 5-27 se agrupan los datos relacionados con las métricas para evaluar un sistema inteligente.

Tabla 5-27: Información asociada al razonamiento

Iteración	Fases del método	Precisión Sim. Contextual	Correctitud	Tiempo razonamiento	Tiempo razonamiento (doble variantes)
1	1.0	0.89	0.9	1500 ms	3000 ms
2	0.88	0.89	0.9	1500 ms	3000 ms
3	0.88	0.9	1.0	1490 ms	3000 ms

5.4.4 Discusión de resultados para el caso de estudio 2

Después de evaluar el desempeño del método en el caso de estudio 2 – Diseño de currículo, se presenta el siguiente análisis.

- En las valoraciones cuantitativas de la capacidad 1 – Gestión y representación, se presenta un comportamiento especial, ya que el sistema no presenta mejoría en su desempeño, lo que hace pensar que las variantes presentan pocos cambios significativos, que conlleva a evidenciar pocas variaciones en los valores.

Su valoración cualitativa en promedio tiene un alto desempeño, debido a que las variables relacionada con el contexto, se relacionan con estructuras documentales, que facilitan su representación y comparación. Sin embargo, la dependencia a los documentos, puede comprometer la integridad de los datos, ya que no se tiene en cuenta el origen y formato de creación.

- En cuanto a las métricas asociadas a la capacidad 2 – Búsqueda y recuperación, sus resultados cuantitativos evidencian un desempeño satisfactorio, pues sus valores son constantes, sin embargo, se debe mejorar el rendimiento de los algoritmos con el fin de bajar los costos de su funcionamiento.

Por su parte las valoraciones cualitativas, reflejan en el método un buen desempeño, ya que la precisión de la selección de las variantes es bastante buena. Cabe resaltar, que la complejidad baja considerablemente respecto al caso de estudio 1, lo cual hace pensar que como causa principal el número de instancias generadas, ya que el caso de estudio 2, sus instancias son pocas.

- La capacidad 3 – Integración y ejecución, es valorada cuantitativamente con un desempeño altamente satisfactorio, pues logra resultados precisión con base en información previamente definida. Su valoración cualitativa presenta apropiado comportamiento en la complejidad y sensibilidad al contexto, pero no en la adaptación, debido posiblemente a que valores de las situaciones contextuales, estaban fuera de rango que evitara recomendar una posible adaptación.
- Las valoraciones hechas con las métricas asociadas a la capacidad 4 – Razonamiento inteligente, indican que su desempeño cuantitativo es alto, pues sus datos permanecen constantes durante las iteraciones. En cuanto a la valoración cualitativa, el sistema presenta buen desempeño (igual al caso de estudio del café).

5.5 Validación del método en el caso de estudio 3 - Admisión Universitaria

Esta sección detalla la aplicación del método en el caso de estudio admisión universitaria a programas de posgrado.

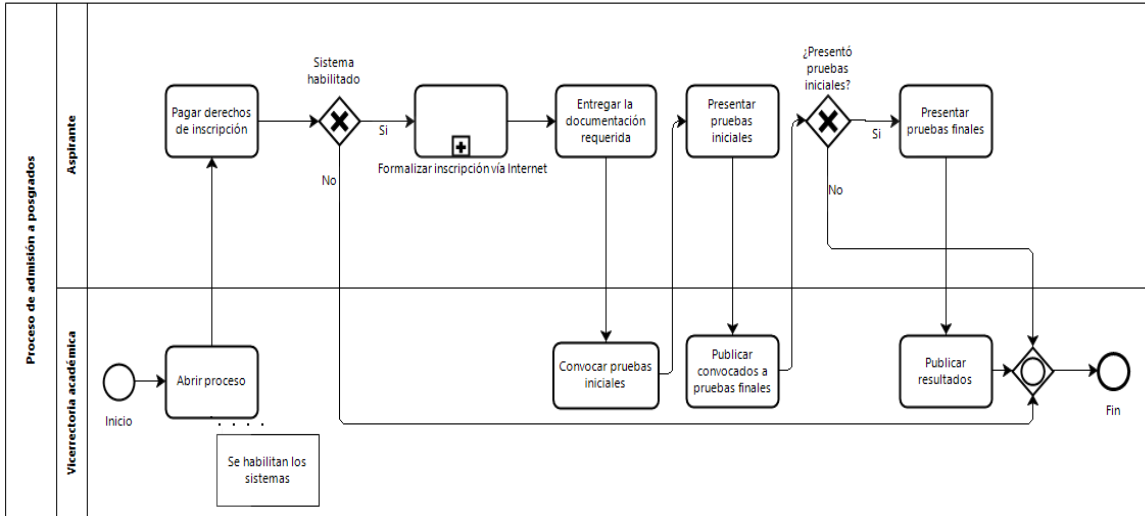
5.5.1 Descripción del caso de estudio 3

El proceso hace referencia a las actividades que se llevan a cabo para aprobar el ingreso de estudiantes a programas de posgrados en universidades públicas. Comprende 14 actividades y 2 actores. Las variables prioritarias que gestionar por el contexto son la habilitación del sistema y la entrega de documentación por parte del aspirante.

La habilitación del sistema depende de la entidad contextual tiempo y fecha, sin embargo, es posible ampliar los tiempos con el fin de soportar requerimientos especiales, como por ejemplo población especial (e.g. población indígena, madres cabeza de familia, otros). Por su parte la entrega de documentación se ve afectada por la ubicación geográfica de los

estudiantes, es por ello, que es posible permitir que se haga la entrega de una manera no presencial ni digital (i.e. correo convencional).

Figura 5-14: Diagrama de procesos de Admisión universitaria



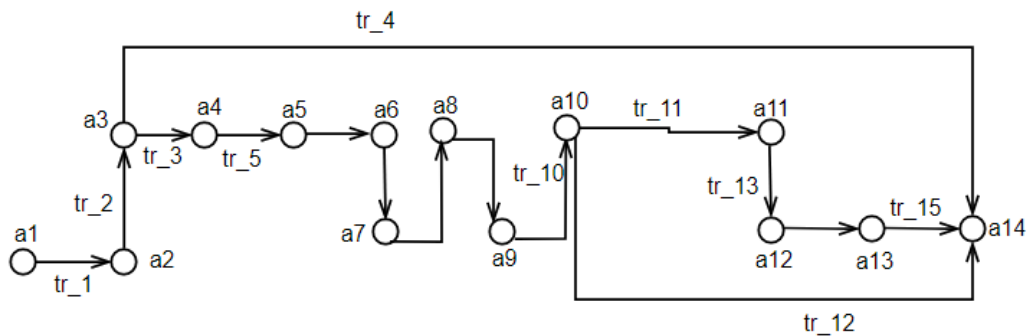
Fuente: Autoría propia.

5.5.2 Aplicación del método al caso de estudio 3

Fase 1- Definición de objetivo de integración: A continuación, se presentan el grafo generado, el objetivo de integración definido y la matriz de cambios detectados.

Generación del grafo representativo:

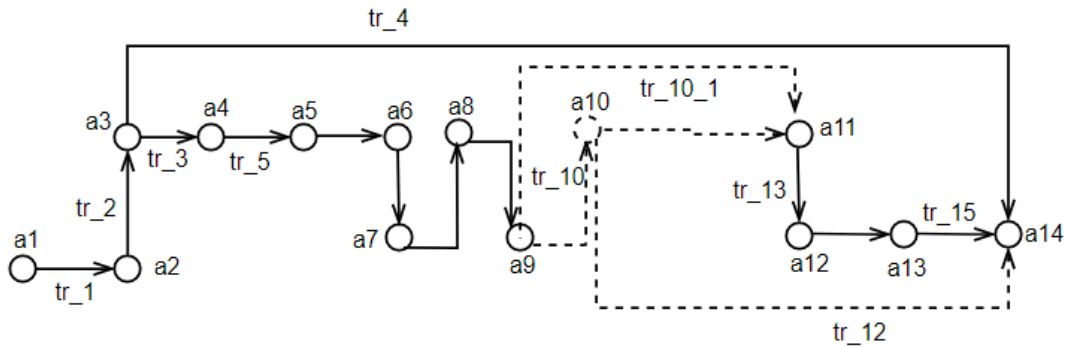
Figura 5-15: Grafo Generado para el modelo de referencia



Fuente: Autoría propia.

Para el caso del objetivo de integración (ver Figura 5-18) se identifican los cambios a realizar por medio de las aristas (transiciones) y actividades con estilo punteado.

Figura 5-16: Grafo Generado para objetivo de integración.



Fuente: Autoría propia.

Por tanto, el objetivo de integración es: Actualizar la estructura del proceso en actividad a10 asociando un evento de eliminación junto con las aristas que lo inciden. Asociar un evento de adición para la continuidad del proceso, es decir una arista entre vértice a9 y a11.

Este cambio afecta el comportamiento del proceso, pues prioriza una regla organizacional, que indica que no se debe validar la actividad 10, es decir que su probabilidad para la opción no es igual a cero.

Identificación de cambios. La Tabla 5-28 presenta la matriz representativa de los cambios identificados en el modelo de proceso.

Tabla 5-28: Cambios identificados para caso de estudio

<i>Elementos con Evento de Adición</i>	<i>Elementos con Evento de Eliminación</i>	<i>Elementos con Actualización en comportamiento</i>
(tr10,tr10_1)	a6, a10, tr5,tr6,tr7,tr12	a10

Fase 2 – Búsqueda y recuperación de variantes: Se presenta a continuación las variantes asociadas y el resultado de la recuperación de las mismas.

Datos asociados a las variantes: En la Tabla 5-29 se presenta el conjunto de variantes, diferenciadas por su código, aquellas que inician con VC se consideran variantes por

configuración y las que inician con VP son variantes por petición. En total el caso de estudio considera cinco variantes.

Tabla 5-29: Variantes definidas para caso de estudio

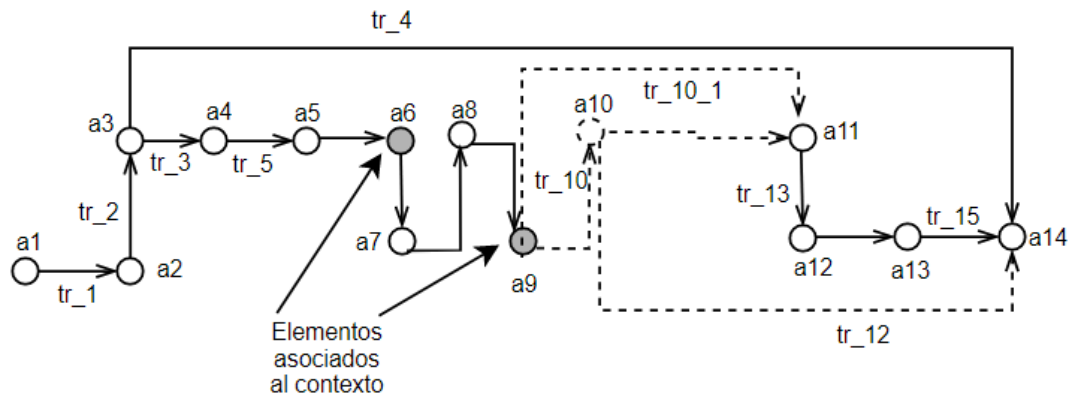
código	tipo	particip.	actividades	gateways	transiciones
vc_01_rm04	configuración	2	14	2	14
vc_02_rm04	configuración.	2	14	2	14
vc_03_rm04	configuración.	2	14	2	14
vc_04_rm04	configuración.	2	13	2	14
vc_05_rm04	configuración	2	13	2	13
vc_06_rm04	configuración	2	13	2	13
vp_01_rm04	petición	2	16	2	15
vp_02_rm04	petición	2	16	2	15

Recuperación y ordenamiento: La Tabla 5-30 consolida el orden en cada una de las iteraciones definidas.

Tabla 5-30: Orden de cada iteración

<i>iteración</i>	<i>orden</i>	<i>Alerta contextual</i>	<i>Variantes a integrar</i>	<i>Variantes a NO integrar</i>
1	vc_01_rm04 vc_02_rm04 vc_05_rm04 vc_06_rm04 vc_04_rm04 vc_03_rm04 vp_02_rm04 vp_01_rm04	1	6	1
2	vc_01_rm04 vc_02_rm04 vc_05_rm04 vc_06_rm04 vc_04_rm04 vc_03_rm04 vp_02_rm04 vp_01_rm04	2	4	2
3	vc_01_rm04 vc_02_rm04 vc_05_rm04 vc_06_rm04 vc_03_rm04 vp_02_rm04 vp_01_rm04 vc_04_rm04	2	4	2

Fase 3 – Integración: En esta fase se genera el modelo de proceso integrado. La Figura 5-19 presenta el grafo resultante, se indica en línea doble, aquellos vértices y alertas afectados.

Figura 5-17: Grafo Generado para el modelo de procedo integrado

Fuente: Autoría propia.

Fase 4 – Propagación y ejecución: La Tabla 5-31 presenta el resultado en cada una de las iteraciones.

Tabla 5-31: Recomendaciones del sistema de propagación y ejecución

<i>Iteración</i>	<i>variantes</i>	<i>Decisión</i>
1	7	Reemplazar
2	6	No Reemplazar
3	5	No Reemplazar

5.5.3 Evaluación basada en métricas para el caso de estudio 3

Se presenta los resultados de la valoración cuantitativa y cualitativa obtenida, para cada una de las capacidades definidas.

- Evaluación de la capacidad 1 – Gestión y representación**

Las Tablas 5-32 evidencia un medio-bajo rendimiento del método, donde su posible causa sea el número de instancias del proceso, que conlleva a mejorar el sistema de gestión de procesos, donde sea posible incluir componentes de ejecución en paralelo para el registro y actualización de información.

Por su parte la Tabla 5-33 presentan las valoraciones cualitativas con cada una de sus justificaciones.

Tabla 5-32: Información asociada con la evaluación cuantitativa

Iteración	Métrica		
	Simetría	Identidad	Grado de Similitud
1	0.75	0.82	0.79
2	0.75	0.82	0.8
3	0.77	0.82	0.8

Tabla 5-33: Información asociada con la evaluación cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Generación del grafo	Alta	Usa, valida constantemente el modelo de referencia con los grafos generados.
Integridad de datos	Alta	Identifica orígenes de datos. Identifica valores duplicados en dominios.
Sensibilidad al contexto	Alta	Detecta situaciones relacionadas con el método.

- **Evaluación de la capacidad 2 - Búsqueda y recuperación**

La Tabla 5-34 se presenta un comparativo de resultados para la búsqueda y recuperación. Por su parte la Tabla 5-35 los resultados asociados con el procedimiento de agrupación y comparación de variantes.

Tabla 5-34: evaluación cuantitativa – Búsqueda y recuperación

Iteración	Búsqueda y recuperación				Filtro contextual aplicado			
	Prec	Rec	Total	F	Prec	Rec	Total	F
1	0.88	0.91	0.89	4.0	0.95	0.91	0.9	4.0
2	0.88	0.9	0.89	4.5	0.95	0.91	0.9	4.5
3	0.88	0.91	0.89	4.0	0.95	0.91	0.9	4.4

Tabla 5-35: evaluación cuantitativa - Agrupamiento

Iteración	Tamaño definido	Elementos por tamaño	Sumatoria de costos
1	0.98	0.91	0.91

2	0.98	0.91	0.91
3	1.0	0.93	0.9

La Tabla 5-36 presenta la valoración cualitativa de la capacidad de búsqueda y recuperación.

Tabla 5-36: Información asociada con la evaluación cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Alineación (Sin-Sem)	Media-Alta	El sistema identifica características similares y diferentes. Sin embargo, no siempre en las primeras iteraciones.
Integridad de datos	Alta	El sistema valida el tipo de datos, dominio, rangos y semántica asociada durante la comparación. Se registrar las incompatibilidades detectadas.
Complejidad	Media-Baja	El sistema tiene complejidad media-baja debido a la falta de un gestor para grandes números de instancias, donde se consideren hilos de ejecución.

- **Evaluación de la capacidad 3 - Integración y ejecución**

En la Tabla 5-37 se consolida los valores obtenidos en cada iteración en cada métrica seleccionada. En la Tabla 5-38 la información asociada a las métricas cualitativas.

Tabla 5-37: evaluación cuantitativa.

Iteración	Tamaño definido	Precisión en el tiempo	Sumatoria de costos
1	1.0	1.0	0.95
2	1.0	0.91	0.95
3	1.0	0.91	1.0

Tabla 5.38: evaluación cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Complejidad	Media-Alta	La integración y ejecución no tiene un diseño óptimo modular.
Sensibilidad al contexto	Alta	El sistema constantemente valida las situaciones y compara la información del proceso y su dominio. Los sensores de captura son dinámicos y están integrados al método.

Adaptación	baja	La adaptación se refleja en la repetición de fases con el fin de mejorar los resultados.
------------	------	--

- **Evaluación de la capacidad 4 - Razonamiento inteligente**

En la Tabla 5-39 se agrupan los datos relacionados con las métricas para evaluar un sistema inteligente. En la Tabla 5-40 se presentan las valoraciones cualitativas.

Tabla 5-39: Valoración cuantitativa

Iteración	Fases del método	Precisión Sim. Contextual	Correctitud	Tiempo razonamiento	Tiempo razonamiento (doble variantes)
1	1.0	0.89	0.9	1500 ms	3000 ms
2	0.88	0.89	0.9	1500 ms	3000 ms
3	0.88	0.9	1.0	1490 ms	3000 ms

Tabla 5-40: Valoración cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Ubicuidad	Alta	El sistema solo se ejecuta en un ambiente tipo web.
Razonamiento sobre dominio	Media-alta	Se identifican los conceptos por medio de ontologías de dominio.
Razonamiento contexto	Media-Alta	Se identifican situaciones asociadas a etiquetas contextuales.
Adaptación	Alta	La adaptación se refleja en la repetición de fases con el fin de mejorar los resultados.

5.5.4 Discusión de resultados para el caso de estudio 3

Después de evaluar el desempeño del método en el caso de estudio 3 – Admisión universitaria, se presenta el siguiente análisis.

- En las valoraciones cuantitativas de la capacidad 1 – Gestión y representación, Su valoración en promedio es alta, ya que las variables relacionadas con el contexto son

de fácil control. Pues los sistemas de localización y captura de tiempo, son precisos y de facilidad en la validación.

Las valoraciones cualitativas, presentan un desempeño satisfactorio, lo anterior se origina a que la estructura del grafo representa de manera correcta los datos y los recursos asociados.

- Para las métricas asociadas a la capacidad 2 – Búsqueda y recuperación se observa un comportamiento apropiado. Sin embargo, la precisión debe considerar una revisión detallada de sus causas.

Para la valoración cualitativa el sistema en general tiene un buen desempeño, ya que la precisión de la selección de las variantes es bastante buena. Cabe resaltar, que la complejidad es un poco alta para lo esperado.

- Para la capacidad 3 – Integración y regresión, presenta un desempeño satisfactorio en cuanto a la alineación, integración y regresión. Dicho comportamiento se debe al correcto funcionamiento de los algoritmos asociados y a los datos arrojados por la fase del método asociada con la priorización de variantes.

No obstante, la valoración cualitativa no presenta un buen comportamiento especialmente con los valores asociados a la adaptación. Su causa principal es la poca información detallada que brinda su estructura, pues dos actividades se comportan como sub-procesos, lo que afectó los resultados obtenidos, obligando al método a repetir fases innecesariamente.

- La capacidad 4 – Razonamiento inteligente, presenta un buen desempeño, debido a la facilidad de verificación de situaciones y los valores asociados a fechas y ubicación de los aspirantes. Así mismo, el dominio de la academia facilita la verificación de expertos de manera constante.

La valoración cualitativa igualmente presenta una respuesta favorable, ya que se detectan conceptos similares en dominios diferentes, sin embargo, no se tiene una inferencia diseñada para darle solución.

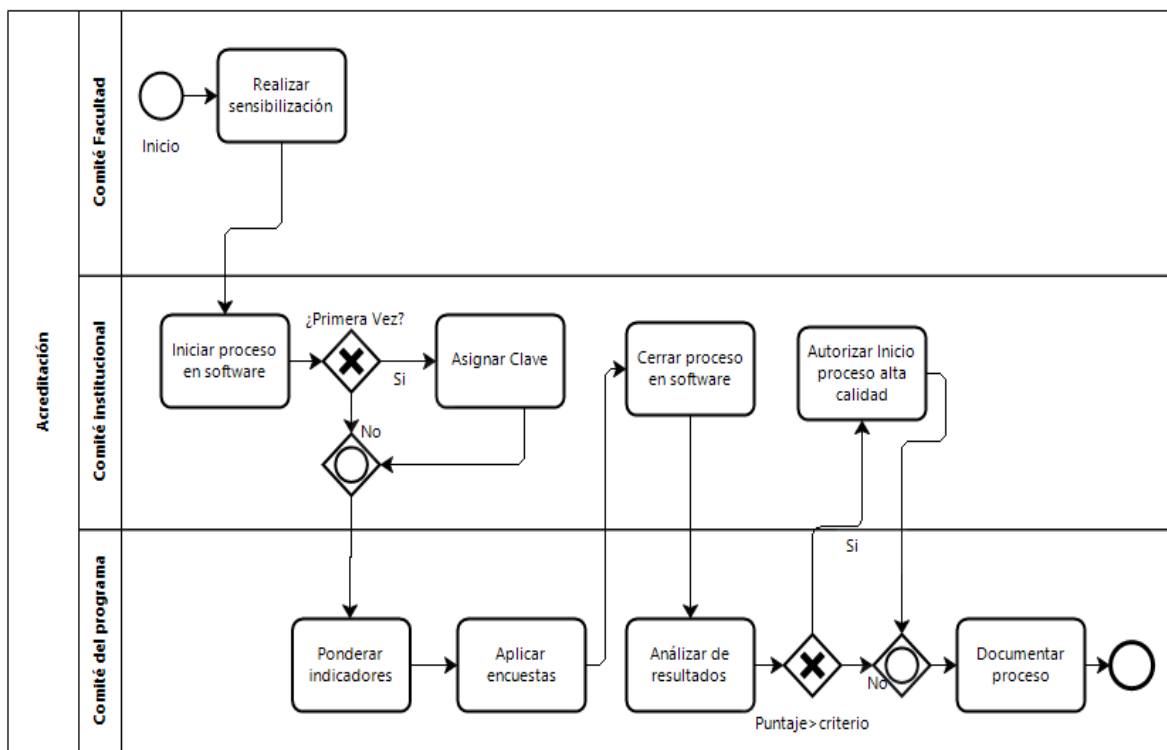
5.6 Validación del método en el caso de estudio 4 - Acreditación académica

Esta sección detalla la aplicación del método en el caso de estudio 4, relacionada con la acreditación en calidad de programas universitarios de pregrado.

5.6.1 Descripción del caso de estudio 4

El proceso consta de 15 actividades, 3 roles y 4 gateways. Las variables contextuales asociadas son la asignación de la clave del software y la validación del puntaje obtenido. La asignación de la clave, depende si la universidad donde se instancia el proceso, solicita que cada programa tenga su clave, mientras en otras instituciones la clave es controlada por una persona para todos los programas, la cual la administra e informa a cada uno de los programas.

Figura 5-18: Diagrama de procesos de Acreditación académica



Fuente: Autoría propia.

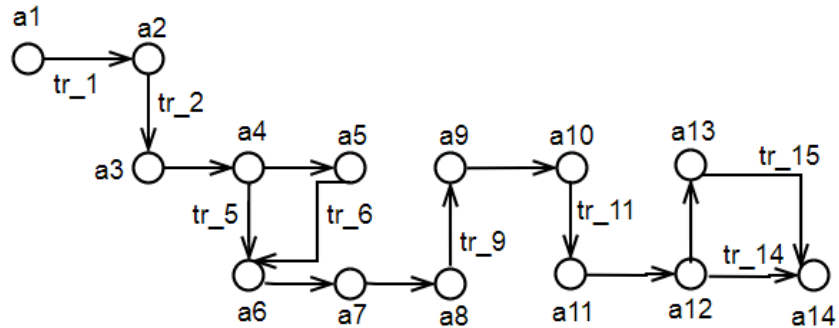
Por su parte el puntaje obtenido, hace referencia a la posibilidad que mediante una regla organizacional el umbral de aprobación sea menor, lo que conlleve a permitir el ingreso de otros programas con valores por debajo de lo establecido. Lo anterior es factible, de acuerdo con situaciones presentes, como la omisión involuntaria de documentación, que conlleve a cambiar los criterios de evaluación.

5.6.2 Aplicación del método al caso de estudio 4

Fase 1- Definición de objetivo de integración: A continuación, se presentan el grafo generado, el objetivo de integración definido y la matriz de cambios detectados.

Generación del grafo representativo:

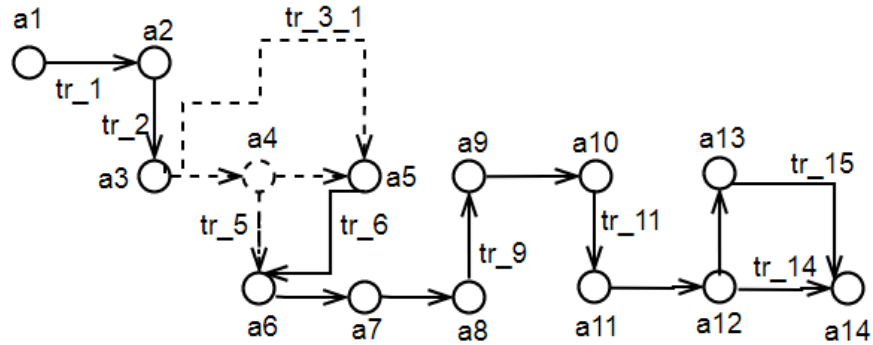
Figura 5-19: Grafo Generado para el modelo de referencia



Fuente: Autoría propia.

Para el caso del objetivo de integración (ver Figura 5-22) se identifican los cambios a realizar por medio de las aristas (transiciones) y actividades con estilo punteado.

Figura 5-20: Grafo Generado para objetivo de integración



Fuente: Autoría propia.

Por tanto, el objetivo de integración es: Actualizar la estructura del proceso en actividad a4 asociando un evento de eliminación junto con las aristas que lo inciden. Asociar un evento de adición para la continuidad del proceso, es decir una arista entre vértice a3 y a5.

Identificación de cambios. La Tabla 5.41 presenta la matriz representativa de los cambios identificados en el modelo de proceso.

Tabla 5.41: Cambios identificados para caso de estudio

Elementos con Evento de Adición	Elementos con Evento de Eliminación	Elementos con Actualización en comportamiento
(tr3,tr3_1)	a4, tr3, tr4, tr5	nulo

Fase 2 – Búsqueda y recuperación de variantes: Se presenta a continuación las variantes asociadas y el resultado de la recuperación de estas.

Datos asociados a las variantes: En la Tabla 5-42 se presenta el conjunto de variantes, diferenciadas por su código, aquellas que inician con VC se consideran variantes por configuración y las que inician con VP son variantes por petición. En total el caso de estudio considera cinco variantes.

Tabla 5-42: Variantes definidas para caso de estudio

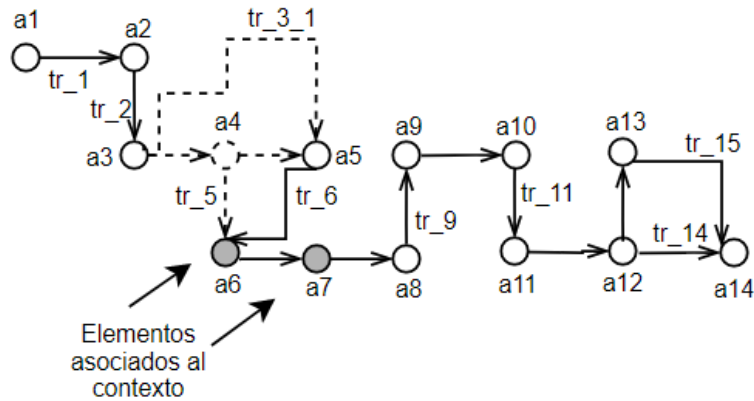
código	tipo	particip.	actividades	gateways	transiciones
vc_01_rm02	configuración	3	13	2	14
vc_02_rm02	configuración.	3	14	2	15
vc_03_rm02	configuración.	3	13	2	14
vp_01_rm02	petición	3	13	2	14

Recuperación y ordenamiento: La Tabla 5-43 consolida el orden en cada una de las iteraciones definidas.

Tabla 5-43: Orden de cada iteración

Iteración	Orden	Alerta contextual	Variantes a integrar	Variantes a NO integrar
1	vc_03_rm02 vc_02_rm02 vc_01_rm02 vp_01_rm02	0	4	0
2	vc_03_rm02 vc_01_rm02 vp_01_rm02 vc_02_rm02	1	3	1
3	vc_03_rm02 vc_01_rm02 vp_01_rm02 vc_02_rm02	1	3	1

Fase 3 – Integración: En esta fase se genera el modelo de proceso integrado. La Figura 5-23 presenta el grafo resultante, se indica en línea doble, aquellos vértices y alertas afectados.

Figura 5-21: Grafo Generado para el modelo de procedo integrado

Fuente: Autoría propia.

Fase 4 – Propagación y ejecución: La Tabla 5-44 presenta el resultado en cada una de las iteraciones.

Tabla 5-44: Recomendaciones del sistema de propagación y ejecución

Iteración	Variantes	Decisión
1	4	Reemplazar
2	3	Reemplazar
3	3	No Reemplazar

5.6.3 Evaluación basada en métricas para el caso de estudio 4

Se presenta los resultados de la valoración cuantitativa y cualitativa obtenida, para cada una de las capacidades definidas.

- **Evaluación de la capacidad 1 – Gestión y representación**

Las Tablas 5-45 y 5-46 presentan las valoraciones cuantitativas y cualitativas respectivamente.

Tabla 5-45: Validación cuantitativa

Iteración	Métrica		
	Simetría	Identidad	Grado de Similitud
1	0.85	0.92	0.89
2	0.85	0.92	0.91
3	0.91	0.92	0.91

Tabla 5-46: Información asociada con la validación cuantitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Generación del grafo	Alta	Usa, valida constantemente el modelo de referencia con los grafos generados. No se detectaron inconsistencias.
Integridad de datos	Alta	Identifica orígenes de datos. Identifica valores duplicados en dominios.
Sensibilidad al contexto	Alta	Detecta situaciones relacionadas con el método.

- **Evaluación de la capacidad 2 - Búsqueda y recuperación**

La Tabla 5-47 y 5-48 presentan los valores cuantitativos y cualitativos de la capacidad 2.

Tabla 5.47: Información asociada a la búsqueda y recuperación

Iteración	Búsqueda y recuperación				Filtro contextual aplicado			
	Prec	Rec	Total	F	Prec	Rec	Total	F
1	0.91	0.91	0.9	4.0	0.9	0.91	0.9	4.0
2	0.91	0.9	0.9	4.5	0.9	0.91	0.9	4.5
3	0.91	0.91	0.91	4.0	0.9	0.91	0.9	4.4

Tabla 5-48: Información asociada agrupamiento

Iteración	Tamaño definido	Elementos por tamaño	Sumatoria de costos
1	0.98	0.91	0.91
2	0.98	0.91	0.91
3	1.0	0.93	0.9

La Tabla 5-49 presenta la valoración cualitativa de la capacidad de búsqueda y

recuperación. El sistema en general tiene un alto desempeño, ya que la precisión de la selección de las variantes es bastante buena.

Tabla 5-49: Información asociada con la valoración cuantitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Alineación (Sin-Sem)	Alta	El sistema identifica características similares y diferentes.
Integridad de datos	Alta	El sistema valida el tipo de datos, dominio, rangos y semántica asociada durante la comparación. Se registrar incompatibilidades detectadas.
Complejidad	Baja	El sistema tiene complejidad baja debido los pocos cambios. Así como la poca complejidad de los objetos tratados.

- **Evaluación de la capacidad 3 - Integración y ejecución**

En la Tabla 5-50 se consolida los valores obtenidos en cada iteración en cada métrica seleccionada. Presenta similar comportamiento al caso de estudio anterior.

Tabla 5-50: Información asociada a la integración y ejecución

Iteración	Tamaño definido	Precisión en el tiempo	Sumatoria de costos
1	1.0	1.0	0.94
2	1.0	0.91	0.94
3	1.0	0.91	0.99

Por su parte la información cualitativa de la Tabla 5-51, se evidencia que la adaptación presenta un apropiado comportamiento, en contraste al caso de estudio anterior.

Tabla 5-51: Información asociada con la validación cuantitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Complejidad	Media-Alta	La integración y ejecución no tiene un diseño óptimo modular.

Sensibilidad al contexto	Alta	El sistema constantemente valida las situaciones y compara la información del proceso y su dominio. Los sensores de captura son dinámicos y están integrados al método.
Adaptación	alta	La adaptación se refleja en la repetición de fases con el fin de mejorar los resultados. Presenta alta adaptación, ya que en todos los casos se retomaba la actividad anterior con base en resultados no apropiados.

- **Evaluación de la capacidad 4 - Razonamiento inteligente**

En la Tabla 5-52 se agrupan los datos relacionados con las métricas para evaluar un sistema inteligente.

Tabla 5-52: Información asociada al razonamiento

Iteración	Fases del método	Precisión Sim. Contextual	Correctitud	Tiempo razonamiento	Tiempo razonamiento (doble variantes)
1	1.0	0.89	0.9	1500 ms	3000 ms
2	0.88	0.89	0.9	1500 ms	3000 ms
3	0.88	0.9	1.0	1490 ms	3000 ms

En cuanto a la valoración cualitativa (Tabla 5-53), el sistema presenta buen desempeño, ya que la información que arroja como parte de los reportes, ofrecen un apoyo confiable para la toma de decisiones.

Tabla 5-53: Información asociada a la valoración cualitativa

Métrica	Valoración	Justificación
Ubicuidad	Alta	El sistema solo se ejecuta en un ambiente tipo web. Sin embargo, sus sensores virtuales se caracterizan por ser heterogéneos y modulares.
Razonamiento sobre dominio	Media-alta	Se identifican los conceptos por medio de ontologías de dominio. La población de instancias y rendimiento de la

		ontología dependen de la ejecución de los procesos en ambientes reales.
Razonamiento contexto	Media-Alta	Se identifican situaciones asociadas a etiquetas contextuales. Se detectan conceptos similares en dominios diferentes, sin embargo, no se tiene una inferencia diseñada.
Adaptación	Alta	La adaptación se refleja en la repetición de fases con el fin de mejorar los resultados. Sin embargo, las decisiones carecen de aprendizaje.

5.6.4 Discusión de resultados para el caso de estudio 4

Después de evaluar el desempeño del método en el caso de estudio 4 – Acreditación académica, se presenta el siguiente análisis.

- Las métricas que valoran cuantitativamente la capacidad 1 – Gestión y representación, indican resultados satisfactorios, pues los resultados son constantes, indicando un que posiblemente a medida que aumentan las iteraciones, se tiende a 1.0. Así mismo las valoraciones cualitativas evidencian un alto rendimiento del método, donde su posible causa sea el poco número de instancias del proceso, así mismo el contexto y dominio no generan situaciones especiales, ya que por si el mismo proceso carece de dinamismo.
- La capacidad 2 – Búsqueda y recuperación presentan resultados similares en las iteraciones, esto para las valoraciones cuantitativas. La causa asociada en la poca variedad de situaciones que se presentan. No obstante, es posible asociar el contenido de la documentación del proceso, siendo este elemento el objeto de razonamiento para el contexto. Aunque el caso de estudio considera las reglas organizacionales para la toma de decisiones, es el contenido de sus documentos el eje central que realmente se debe asociar.

Por su parte la valoración cualitativa, ofrece prestaciones apropiadas para la recuperación de variantes a partir de su comparación, esto quiere decir que las ontologías, permiten

validar y mejorar los procedimientos de identificación de diferencias y validación conceptual según el dominio de ejecución.

- Para la capacidad 3 – Integración y ejecución al igual que los casos de estudio anteriores, se comporta tanto cuantitativa y cualitativamente de manera satisfactoria, ya que garantiza que las estructuras de los procesos integrados se conserven, permitiendo identificar los elementos propios del objetivo de integración.
- Las valoraciones de la capacidad 4 – Razonamiento inteligente presenta rendimiento satisfactorio, pues las variables relacionadas con el contexto son de fácil control, ya que son reglas de negocio de configuración interna, no dependiente del dominio. Por su parte las valoraciones cualitativas presentan similar comportamiento al caso de estudio 2, lo anterior debido al poco número de instancias, facilitando así las tareas de razonamiento.

5.7 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentó la implementación y validación del método de integración de procesos, demostrando su validez y viabilidad a la hora de seleccionar los procesos apropiados para la integración. Como primera medida se propuso una arquitectura tecnológica que diera soporte a la implementación, acompañada por una herramienta informática que gestiona todas las fases del método; así mismo se definió el mecanismo de generación de datos a partir de bitácoras de ejecución.

Para la validación del método se definieron métricas de evaluación de acuerdo con las cuatro capacidades: (1) gestión y representación de procesos, (2) búsqueda y recuperación, (3) integración y ejecución y (4) y razonamiento en general. Las métricas evalúan las capacidades del método de forma cuantitativa y cualitativamente.

A partir de los resultados obtenidos después de implementar y validar el método propuesto en esta tesis de doctorado en los cuatro casos de estudio diseñados, se puede concluir:

- El método presenta para los cuatro casos de estudio, prestaciones apropiadas para la gestión de variantes, así como para la generación de grafos representativos.

- El método cumple apropiadamente en los cuatro casos de estudio, con la búsqueda y recuperación de variantes, generando a las primeras iteraciones una lista de variantes priorizadas. Dicha priorización tiene un satisfactorio desempeño durante las iteraciones.
- El método presenta buen comportamiento en cuanto a la integración y regresión para los cuatro casos de estudio, es decir los procesos generados, tiene alto grado de proximidad con su modelo de referencia.
- El método presenta bajo rendimiento en casos de estudio con un gran número de instancias, como lo fue el caso de estudio 3 - Admisión universitaria y el caso de estudio 1 - Producción de café. Lo anterior se debe a la falta de mecanismos de encolamiento de peticiones, lo que hace que la plataforma orientada a servicios incremente su tiempo de respuesta. No obstante, para los otros dos casos de estudio (caso de estudio 2 y 4) se presenta un buen desempeño.
- El razonamiento se ve un poco afectado en los casos de estudio 1 y 3, pues a medida que se incrementa el número de instancias, las activaciones de reglas de inferencia aumentan, lo que representa una afectación directa a partir del bajo rendimiento en cuanto al tiempo. Respecto a los casos de estudio 2 y 4, el razonamiento es el esperado y se puede concluir que el método funciona adecuadamente.
- Es importante señalar que, el bajo rendimiento en tiempo de procesamiento, que presenta el método en los casos de estudio 1 y 3, pueden ser mejorados por medio del diseño de una estructura dinámica de almacenamiento de las instancias de los procesos, por ejemplo, una estructura basada en arboles facilitaría su procesamiento.
- El método presenta buen comportamiento en su rendimiento cuando se ejecutan procesos que pertenecen a un solo dominio. Sin embargo, a medida el rendimiento disminuye, cuando se agrega otro dominio, ya que se deben validar todos los conceptos de cada uno de los dominios incluidos. Por lo anterior, se deben diseñar nuevos axiomas que optimicen la búsqueda y recuperación de modelos procesos a partir su validación frente al dominio de ejecución.

- Para complementar las soluciones de mejora en el rendimiento, se pueden aplicar mecanismos de razonamiento que permitan realizar una búsqueda de rutas de solución, con ello se podría trabajar con históricos para mejorar la recuperación y procesamiento de las instancias.

6. Conclusiones y trabajo futuro

6.1 Conclusiones de la tesis

En este trabajo de investigación se ha presentado el diseño y desarrollo de un método para la integración de modelos de procesos de negocio, dotado de capacidad de razonamiento inteligente y adaptación al contexto donde se implementa. De esta manera es posible propagar actualizaciones desde modelos de proceso de referencia a variantes relacionadas, conservando las variables de desempeño y comportamiento de los modelos involucrados.

Los elementos prioritarios definidos para el método de integración propuesto son: (1) el esquema de modelos de proceso, (2) la ontología de variante de proceso, (3) el mecanismo de inferencia y (4) el procedimiento de integración. Todos estos elementos se complementan con el diseño de una arquitectura basada en capas, que garantizaron una adecuada implementación y validación del método.

El método propuesto se compone de cuatro fases, las cuales interactúan entre sí para llevar a cabo la integración. Adicionalmente, estas responden de manera diferente de acuerdo con las situaciones contextuales que se presentan en el procedimiento de integración. Es así, que las fases modifican las iteraciones que se realizan sobre ellas o regresan a la fase anterior, para obtener más información y mejorar sus resultados. Dicha adaptación es posible gracias a un mecanismo de razonamiento propuesto.

Los resultados obtenidos demuestran que durante la integración de procesos de negocio, se favorece del razonamiento sobre el contexto por su capacidad de adaptación, ya que el método decide las veces que ejecuta cada una de sus fases, de acuerdo con los datos obtenidos de las anteriores. Así mismo, se evidencia que las técnicas de agrupamiento, facilitan la alineación e integración de modelos de procesos, debido a la posibilidad de representar información detallada de su estructura y comportamiento.

Del mismo modo, las tecnologías y técnicas asociadas a la inteligencia artificial, como son la verificación de restricciones, el agrupamiento (clustering) y los sistemas multi-agente, brindan una favorable respuesta al momento de realizar un razonamiento sobre el contexto,

gracias a su capacidad de percibir información del problema y definir planes de acciones a realizar.

A lo anterior se suma que se lograron alcanzar los objetivos planteados inicialmente para esta tesis de doctorado, realizando los siguientes aportes:

- Se definió una estructura para el modelo de proceso, que fue tomada como referencia para el diseño del *proceso de referencia*, *variante de proceso*, *objetivo de integración* y *modelo de proceso integrado*. La principal ventaja del uso de un esquema de referencia, es que facilitó su representación sobre un sistema gestor de bases de datos, lo cual aumentó la precisión de captura de datos a la hora de la implementación, automatización y simulación de procesos de negocio.
- Se propuso una representación semántica por medio de una ontología del concepto de variante de proceso. Dicha representación facilita la validación de las situaciones contextuales identificadas y su relación con el dominio del proceso. Así mismo, permitió el registro válido de ejecuciones, ya que se pudo asociar los datos de una bitácora única por dominio de ejecución.
- Se propuso un procedimiento de comparación de modelos de proceso, basado en métricas de similitud semántica y sintáctica. Dicho procedimiento se complementó con un algoritmo de agrupamiento, que se comporta como un filtro para el resultado inicial, ya que valora los cambios y su afectación en el desempeño.
- Se definieron las fases del método, garantizando la representación de variables contextuales en cada una de ellas. Así mismo se definió un flujo entre las fases del método, permitiendo así la toma de decisiones para la adaptación del método de acuerdo con situaciones contextuales presentes.
- Se realizó una formalización de los elementos y el método de integración, por medio de lógica de primer orden, permitiendo así la definición de reglas de inferencia y bases de conocimiento, para la realización del razonamiento y validez semántica.
- Se diseñó un modelo de contexto que sirve de base a la integración de procesos de negocio. Dicho modelo de constituye a partir de dimensiones del contexto (e.g.

organización, operación, recursos, actores), así mismo por entidades, valores y situaciones contextuales.

- Se definió un esquema general para el razonamiento de la integración de procesos, compuesto por cuatro pasos así: (1) gestión de la colección de procesos, (2) representación de grafos, (3) representación de matrices de adyacencia y/o incidencia y (4) procesamiento inteligente, este último compuesto por procedimientos de comparación, agrupamiento y adaptación.
- Se diseñaron e implementaron dos arquitecturas tecnológicas, la primera basada en sistema multi-agente sensible al contexto y la segunda basada en servicios web. Estas dos propuestas permitieron la correcta implementación del método, especialmente útil en la ejecución y captura de datos.
- Se definieron cuatro casos de estudio para la implementación y validación del método de integración. La validación hizo uso de métricas cuantitativas y cualitativas, valorando las capacidades de gestión, representación, búsqueda, recuperación, integración, ejecución y razonamiento inteligente. De manera general, el método exhibe un buen desempeño al aplicar las métricas para los cuatro casos de estudio.

6.2 Lecciones aprendidas

A partir de las actividades definidas para el desarrollo en esta tesis de doctorado, se evidenciaron algunos aspectos que generaron comportamientos particulares del método, a saber:

- El modelado del contexto para cualquier caso de estudio, debe tener siempre el apoyo semántico de una ontología de dominio, ya que puede existir similitud de conceptos, que conlleven a un incorrecto razonamiento y mal funcionamiento del método.
- Con las estructuras de datos aplicadas en el método, se pueden diseñar soluciones que optimicen el procesamiento de gran cantidad de información. Lo anterior, evidencia que el método puede extenderse y es escalable al ser aplicado en otros ambientes con

características propias para su dominio de ejecución, a partir de una modificación en el algoritmo de procesamiento de la información.

- El diseño, aplicación y validación de cuatro casos de estudio, evidencia que el método tiene características genéricas, pues puede aplicarse a otros casos de estudio, a partir de la configuración de ciertas condiciones iniciales.
- Teniendo en cuenta que la adaptatividad es la capacidad que tiene un sistema de realizar las acciones necesarias para lograr su adaptación; el método propuesto tiene adaptatividad, al decidir cuándo una fase del método se ejecuta de nuevo, incrementa sus iteraciones o no se ejecuta.
- En cuanto a la adaptabilidad, el método propuesto presenta ventajas a destacar, ya que por su diseño modular (basado en elementos), es posible reconfigurar el diseño de cada uno de ellos sin llegar a afectar el funcionamiento del todo, por ejemplo, se podría emplear otra plantilla de modelo de proceso, para aceptar otro tipo de descripciones.
- La integración de procesos de negocio, sigue siendo un concepto que podrá ser confundido por otros investigadores dentro de otras disciplinas, como por ejemplo: Interoperabilidad de información, negocio electrónico, mejoramiento de procesos, integración de sistemas; sin embargo, debe verse siempre la integración, como la generación de nuevos modelos de proceso, a partir de un conjunto de ellos.

6.3 Trabajo futuro

A partir de la validación realizada, se concluye que el método funciona de manera adecuada, ya que define una lista de procesos a integrar, previa verificación de situaciones contextuales, facilitando y aportando información para la toma de decisiones. No obstante, presenta limitaciones en algunas de sus fases, las cuales se convierten en las siguientes posibles líneas de investigación para un trabajo futuro:

- La caracterización y representación de los procesos que intervienen en la integración por medio de grafos de estado puede mejorar su desempeño, por medio

de algoritmos de aprendizaje. Significa esto que la creación de grafos debe basarse en datos anteriores para mejorar cada vez sus resultados.

- Así mismo, se debe considerar para una futura automatización el uso de tecnologías emergentes como son: internet de las cosas, cadenas de bloques de suministro (blockchain) y aplicaciones cada día más dinámicas y progresivas.
- Es necesario considerar aspectos de razonamiento inexacto y con incertidumbre, que se acerca aún más a la realidad dinámica de los dominios y contexto de ejecución. Este tipo de razonamiento lógico se alimenta de información descrita en el dominio a través de variables de estado y rendimiento.
- El método de integración analiza el contexto a partir de un solo dominio asociado a los procesos, esto quiere decir, que se debe considerar aquellas características en los procesos que soporten la ejecución en escenarios de multi-dominio.
- La ejecución y rendimiento se convierte en una potencial línea de investigación, debido a la capacidad de trasportar la solución a ambientes móviles, web en tiempo real. Lo anterior vislumbra soluciones en áreas como: entretenimiento, salud y monitoreo de entornos clínicos.
- Es preciso ahondar en los lenguajes de interacción entre modelos de proceso, ya que si se lograr integrar, por ejemplo, con performativas de comunicación entre agentes, los sistemas de razonamiento tendrían más información para sus mecanismos de aplicación de reglas.

Referencias Bibliográficas

(Alonso et al., 2004) Alonso, G., Casati, F., Kuno, H., & Machiraju, V. (2004). Web services. In *Web Services* (pp. 123-149). Springer, Berlin, Heidelberg.

(Antoniou & vanHarmelen, 2004) Antoniou, G. & Frank vanHarmelen, (2004). *A Semantic Web Primer*.

(Aslam et al., 2006) Aslam, M. A., Auer, S., Shen, J., & Herrmann, M. (2006, September). Expressing business process models as OWL-S ontologies. In *International Conference on Business Process Management* (pp. 400-415). Springer, Berlin, Heidelberg.

(Araujo et al., 2013) Araujo, R. M., Leite, A. M., Magdaleno, A. M., & Werner, C. M. L. (2013). Modelo de contexto para apoio à adaptação de processos de software com foco na colaboração. *iSys-Revista Brasileira de Sistemas de Informação*, 5(1).

(Awad & Sakr, 2012) Awad, A., & Sakr, S. (2012). On efficient processing of BPMN-Q queries. *Computers in Industry*, 63(9), 867-881.

(Benedict et al., 2013) Benedict, T., Bilodeau, N., Vitkus, P., Powell, E., Morris, D., Scarsig, M., ... & Fuller, M. (2013). *BPM CBOK Version 3.0: guide to the business process management common body of knowledge*. ABPMP International/Createspace.

(Berente et al., 2009) - Berente, N., Vandenbosch, B. y Aubert, B. Information flows and business process integration. *Business Process Management Journal*, 2009, vol. 15, no 1, p. 119-141.

(Bettini et al., 2010) Bettini, C., Brdiczka, O., Henricksen, K., Indulska, J., Nicklas, D., Ranganathan, A., & Riboni, D. (2010). A survey of context modelling and reasoning techniques. *Pervasive and Mobile Computing*, 6(2), 161-180.

(Bucchiarone et al., 2011) Bucchiarone, A., Pistore, M., Raik, H., & Kazhamiakin, R. (2011, December). Adaptation of service-based business processes by context-aware replanning. In *Service-Oriented Computing and Applications (SOCA), 2011 IEEE International Conference on* (pp. 1-8). IEEE.

(Buijs et al., 2011) Buijs, J. C., van Dongen, B. F., & van der Aalst, W. M. (2011, August). Towards cross-organizational process mining in collections of process models and their

executions. In International Conference on Business Process Management (pp. 2-13). Springer, Berlin, Heidelberg.

(Cabrera et al., 2017) Cabrera, O., Franch, X., & Marco, J. (2017). Ontology-based context modeling in service-oriented computing: a systematic mapping. *Data & Knowledge Engineering*, 110, 24-53.

(Chen & Nunez, 2010) Chen, L., & Nunez, M. (2010). Business process integration of multiple customer order review systems. *IEEE Transactions on engineering Management*, 57(3), 502-512.

(Chudnovskyy et al., 2011) Chudnovskyy, O., Gebhardt, H., Weinhold, F., & Gaedke, M. (2011). Business Process Integration using Telco Mashups. *Procedia Computer Science*, 5, 677-680.

(Dahman et al., 2013) Dahman, K., Charoy, F., & Godart, C. (2013, June). Alignment and change propagation between business processes and service-oriented architectures. In *Services Computing (SCC), 2013 IEEE International Conference on* (pp. 168-175). IEEE.

(Dey, 2001) Dey, A. K. (2001). Understanding and using context. *Personal and ubiquitous computing*, 5(1), 4-7.

(Dijkman et al., 2009) Dijkman, R., Dumas, M., & García-Bañuelos, L. (2009, September). Graph matching algorithms for business process model similarity search. In *International Conference on Business Process Management* (pp. 48-63). Springer, Berlin, Heidelberg.

(Dijkman et al., 2011) Dijkman, R., Dumas, M., Van Dongen, B., Käärik, R., & Mendling, J. (2011). Similarity of business process models: Metrics and evaluation. *Information Systems*, 36(2), 498-516.

(Dijkman et al., 2011) Dijkman, R., Vanderfeesten, I., & Reijers, H. A. (2011). Designing a business process architecture: an overview of approaches and their use. Eindhoven University of Technology, the Netherlands.

(Döhning et al., 2014) Döhning, M., Reijers, H. A., & Smirnov, S. (2014). Configuration vs. adaptation for business process variant maintenance: an empirical study. *Information Systems*, 39, 108-133.

(Dumas et al., 2013) Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., Reijers H. *Fundamentals of Business Process Management*, Springer (2013).

- (Ekanayake, 2014)** Ekanayake, C. C. (2014). Consolidation of business process model collections (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
- (Erl, 2008)** Erl, T. (2008). Soa: principles of service design (Vol. 1). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- (Fan et al., 2009)** Fan, S., Zhang, L., & Sun, Z. (2009, April). An ontology based method for business process integration. In Interoperability for Enterprise Software and Applications China, 2009. IESA'09. International Conference on (pp. 135-139). IEEE.
- (Fan et al., 2016)** Fan, S., Hua, Z., Storey, V. C., & Zhao, J. L. (2016). A process ontology based approach to easing semantic ambiguity in business process modeling. *Data & Knowledge Engineering*, 102, 57-77.
- (Fdhila et al., 2015)** Fdhila, W., Indiono, C., Rinderle-Ma, S., & Reichert, M. (2015). Dealing with change in process choreographies: Design and implementation of propagation algorithms. *Information systems*, 49, 1-24.
- (Gassen et al., 2017)** Gassen, J. B., Mendling, J., Bouzeghoub, A., Thom, L. H., & de Oliveira, J. P. M. (2017). An experiment on an ontology-based support approach for process modeling. *Information and Software Technology*, 83, 94-115.
- (Ghose et al., 2011)** Ghose, A., Narendra, N., Ponnalagu, K., Panda, A., & Gohad, A. (2011). Goal-driven business process derivation. *Service-Oriented Computing*, 467-476.
- (Greta et al., 2017)** Greta, A., Stefano, B., Di Francescomarino, C., Chiara, G., Nicola, G., & Sanfilippo, E. M. (2017). Business Process Languages: An Ontology-Based Perspective. In CEUR workshop proceedings.
- (Gruber et al., 1994)** Gruber, T. R., & Olsen, G. R. (1994). An Ontology for Engineering Mathematics. *KR*, 94, 258-269.
- (Guarino, 1998)** Guarino, N. (Ed.). (1998). Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy (Vol. 46). IOS press.

(Hanson et al., 2002) Hanson, J. E., Nandi, P., & Kumaran, S. (2002). Conversation support for business process integration. In Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2002. EDOC'02. Proceedings. Sixth International (pp. 65-74). IEEE.

(Ilahi et al., 2017) Ilahi, L., Ghannouchi, S. A., & Martinho, R. (2017). BPFlexTemplate: A Business Process template generation tool based on similarity and flexibility. SciKA-Association for Promotion and Dissemination of Scientific Knowledge.

(Jaquero, 2005) Jaquero, V. M. L. (2005). Interfaces de usuario adaptativas basadas en modelos y agentes software (Doctoral dissertation, Universidad de Castilla-La Mancha).

(Jung, 2009) Jung, J. J. (2009). Semantic business process integration based on ontology alignment. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11013-11020.

(Karvounarakis et al., 2002) Karvounarakis, G., Alexaki, S., Christophides, V., Plexousakis, D., & Scholl, M. (2002, May). RQL: a declarative query language for RDF. In Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web (pp. 592-603). ACM.

(Kim & Suhh, 2010) Kim, G., & Suhh, Y. (2010). Ontology-based semantic matching for business process management. *ACM SIGMIS Database*, 41(4), 98-118.

(Krumm, 2016) Krumm, J. (Ed.). (2016). *Ubiquitous computing fundamentals*. CRC Press.

(Kurniawan et al., 2011) Kurniawan, T. A., Ghose, A. K., Le, L. S., & Dam, H. K. (2011, August). On formalizing inter-process relationships. In *International Conference on Business Process Management* (pp. 75-86). Springer, Berlin, Heidelberg.

(La Rosa et al., 2013) La Rosa, M., Dumas, M., Uba, R., & Dijkman, R. (2013). Business process model merging: An approach to business process consolidation. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, 22(2), 11.

(La Rosa et al., 2015) La Rosa, M., Dumas, M., Ekanayake, C. C., García-Bañuelos, L., Recker, J., & ter Hofstede, A. H. (2015). Detecting approximate clones in business process model repositories. *Information Systems*, 49, 102-125.

(La Rosa et al., 2017) La Rosa, M., Van der Aalst, W. M., Dumas, M., & Milani, F. P. (2017). Business process variability modeling: A survey. *ACM Computing Surveys*, 50(1), 2.

(Lassoued et al. 2016) Lassoued, Y., Bouzguenda, L., y Mahmoud, T. (2016). Context-Aware Business Process Versions Management. *International Journal of e-Collaboration*, 12(3), 7-33.

(Lee et al., 2011) Lee, S., Chang, J., & Lee, S. G. (2011). Survey and trend analysis of context-aware systems. *Information-An International Interdisciplinary Journal*, 14(2), 527-548.

(Lee et al., 2005) Lee, J., Kim, Y., Kim, Y., & Moon, B. H. (2005, May). Business process integration with web services. In *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, 2005 IEEE.

(Liu et al., 2015) Liu, K., Yan, Z., Wang, Y., Wen, L., & Wang, J. (2015). Efficient syntactic process difference detection and its application to process similarity search. *International Journal of Industrial Engineering*, 22(4), 468-481.

(Malekan et al., 2018) Malekan, H. S., Adamiak, K., & Afsarmanesh, H. (2018). A systematic approach for business service consolidation in virtual organizations. *Service Oriented Computing and Applications*, 1-17.

(Marchetti et al., 2004) Marchetti, T. J., & García, A. J. (2004). Metodologías de desarrollo de sistemas multi-agente: un análisis comparativo. In *X Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*.

(Minor et al., 2007) Minor, M., Tartakovski, A., & Bergmann, R. (2007, August). Representation and structure-based similarity assessment for agile workflows. In *International Conference on Case-Based Reasoning* (pp. 224-238). Springer, Berlin, Heidelberg.

(Morrison et al., 2009) Morrison, E. D., Menzies, A., Koliadis, G., & Ghose, A. K. (2009, January). Business process integration: Method and analysis. In *Proc. of the Sixth Asia-Pacific Conference on Conceptual Modeling*. Australian Computer Society, Inc.

(Murillo, 2014) Murillo, J. A. J. (2014). *Matemáticas para la computación*. Alfaomega.

(Noy & McGuinness, 2001) Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*.

(Padgham et al., 2005) Padgham, L., & Winikoff, M. (2005). Developing intelligent agent systems: A practical guide (Vol. 13). John Wiley & Sons.

(Park et al., 2017) Park, G., Chung, L., Khan, L., & Park, S. (2017, May). A modeling framework for business process reengineering using big data analytics and a goal-orientation. In Research Challenges in Information Science (RCIS), 2017 11th International Conference on (pp. 21-32). IEEE.

(Picón et al., 2014) Picón, D., Fontana, F., & Martin, A. E. (2014). Integración de procesos de negocio aplicando servicios web. *Informes Científicos-Técnicos UNPA*, 6(2), 57-89.

(Ploesser et al., 2009) Ploesser, K., Peleg, M., Soffer, P., Rosemann, M., & Recker, J. C. (2009). Learning from context to improve business processes. *BPTrends*, 6(1), 1-7.

(Poizat et al., 2016) Poizat, P., Salaün, G., & Krishna, A. (2016, October). Checking business process evolution. In International Workshop on Formal Aspects of Component Software (pp. 36-53). Springer, Cham.

(Raut & Basavaraja, 2003) Raut, A., & Basavaraja, A. (2003, October). Enterprise business process integration. In TENCON 2003. Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific Region (Vol. 4, pp. 1549-1553). IEEE.

(Rehse, et al., 2017) Rehse, J. R., Fettke, P., & Loos, P. (2017). A graph-theoretic method for the inductive development of reference process models. *Software & Systems Modeling*, 16(3), 833-873.

(Russel & Norvin, 2004) Russell, S., y Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial, Un Enfoque Moderno*. 3era Edición. Prentice Hall.

(Saidani & Nurcan, 2009) Saidani, O., y Nurcan, S. (2009, April). Context-awareness for adequate business process modelling. In Research Challenges in Information Science, 2009. RCIS 2009. Third International Conference on (pp. 177-186). IEEE.

(Sajja & Akerkar, 2012) Sajja, P. S., & Akerkar, R. (2012). *Intelligent technologies for Web applications*. CRC Press.

(Shapiro & Marin, 2012) Shapiro, R., & Marin, M. (2012). Workflow Management Coalition Workflow Standard Process Definition Interface–XML Process Definition Language. The Workflow Management Coalition, 99.

(Schmidt et al., 2017) Schmidt, S., Jung, M., Schmidt, T., Sterzinger, I., Schmidt, G., Gomm, M., ... & Reisinger, T. (2017). Unibyte-a unified framework for blockchain based business integration.

(Schubert & Legner, 2011) Schubert, P., & Legner, C. (2011). B2B integration in global supply chains: An identification of technical integration scenarios. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20(3), 250-267.

(Schonewille & Bouwman, 2012) Schonewille, J. P., & Bouwman, W. A. G. A. (2012, January). Contextual aspects in enterprise integration. In *System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference on* (pp. 4672-4681). IEEE.

(Sebu y Ciocarlie, 2015) Sebu, L. y Ciocarlie, H. Merging business processes for a common workflow in an organizational collaborative scenario" *System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2015 19th International Conference on*, 2015, pp. 134-139 (2015).

(Skopik et al., 2010) Skopik, F., Schall, D., Dustdar, S., & Sesana, M. (2010, May). Context-Aware interaction models in cross-organizational processes. In *Internet and Web Applications and Services (ICIW), 2010 Fifth International Conference on* (pp. 85-90). IEEE.

(Steinau et al., 2017) Steinau, Sebastian and Künzle, Vera and Andrews, Kevin and Reichert, Manfred (2017) Coordinating Business Processes Using Semantic Relationships. In: *19th IEEE Conference on Business Informatics (CBI 2017)*, July 2017, Thessaloniki, Greece.

(Shanmugapriya, P. & Suresh, 2012) Shanmugapriya, P., & Suresh, R. M. (2012). Software architecture evaluation methods-A survey. *International Journal of Computer Applications*, 49(16).

(Sungur et al., 2016) Sungur, C. T., Breitenbücher, U., Leymann, F., & Wieland, M. (2016). Context-sensitive adaptive production processes. *Procedia CIRP*, 41, 147-152.

(Sikounmo et al., 2017) Sikounmo, C. D., Benoit, E., & Perrin, S. (2017, June). Modeling Situations in an Intelligent Connected Furniture Environment. In *International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context* (pp. 381-394). Springer, Cham.

(Thaler et al., 2016) Thaler, T., Schoknecht, A., Fettke, P., Oberweis, A., & Laue, R. (2016, September). A comparative analysis of business process model similarity measures. In

International Conference on Business Process Management (pp. 310-322). Springer, Cham.

(Van, 2011) Van, D. A. (2011). Process Mining Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes.

(Van et al., 2013) Van Dongen, B., Dijkman, R., & Mendling, J. (2013). Measuring similarity between business process models. In *Seminal Contributions to Information Systems Engineering* (pp. 405-419). Springer, Berlin, Heidelberg.

(Vernadat, 1996) Vernadat, F. (1996). Enterprise modeling and integration. Boom Koninklijke Uitgevers.

(Yongsiriwit, et al., 2016) Yongsiriwit, K., Sellami, M., & Gaaloul, W. (2016, June). A semantic framework supporting business process variability using event logs. In *Services Computing (SCC), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 163-170). IEEE.

(Weiss, 1999) Weiss, G. (1999). Multiagent Systems. A modern approach to distributed intelligence.

(Weske, 2010) Weske, M. (2010). Business process management: concepts, languages, architectures. Springer Publishing Company, Incorporated.

(Wooldridge, 2009) Wooldridge, M. (2009). An introduction to multiagent systems. John Wiley & Sons.

(Wu et al., 2016) Wu, B., Lin, R., Wang, P., & Chen, J. (2016, June). Dynamic Business Process Generation and Verification. In *Services Computing (SCC), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 836-839). IEEE.

(Zhang et al., 2018) Zhang, X., Wang, J., Xing, J., Song, W., & Yang, Q. (2018). VMeasuring Data-Aware Process Consistency Based on Activity Constraint Graphs. *IEEE Access*.

(Zemni et al., 2016) Zemni, M. A., Mammari, A., & Hadj-Alouane, N. B. (2016). An automated approach for merging business process fragments. *Computers in Industry*, 82, 104-118.