UNIVERSIDAD CENTRAL «MARTA ABREU» DE LAS VILLAS

FACULTAD DE MATEMÁTICA, FÍSICA Y COMPUTACIÓN

DEPARTAMENTO DE COMPUTACIÓN

Monografía

Aplicación de directrices de calidad a modelos de procesos de negocio a través de archivos de salida con extensión bpmn y xpdl

Colectivo de Autores

Edición: Anabel Amil

Frank Reyes Hernández, Lisbet Hernández Cárdenas, Isel Moreno Montes de Oca, Abel Rodríguez Morffi, Rosendo Moreno Rodríguez, 2019

Editorial Feijóo, 2019

ISBN: 978-959-312-232-0

Arbitrada por pares académicos

EDITORIAL FEIJÓO

Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830

RESUMEN

En la actualidad, el modelado de procesos de negocio constituye una parte esencial de las organizaciones en la mejora de su eficiencia y efectividad operacionales. Una forma de incrementar la calidad de los modelos de procesos de negocio es a través de la aplicación de directrices prácticas de calidad. El objetivo de este trabajo consiste en la interpretación de archivos de salida con extensión .bpmn y .xpdl, con el objetivo de evaluar la complejidad de modelos de procesos de negocio BPMN. Dicha evaluación se lleva a cabo mediante la aplicación de medidas de calidad, con el fin de ofrecer directrices prácticas que faciliten la mejora de la calidad de dichos modelos. Los principales resultados obtenidos consisten en la interpretación de los archivos de salida .bpmn y .xpdl de las herramientas de modelado Bonita y Bizagi respectivamente; la formulación de una estructura interna de los archivos generados por dichas herramientas y el almacenamiento de la información de los modelos contenida en dichos archivos en la estructura de datos grafo.

Palabras claves: BPMN, grafos, directrices de calidad de modelos de procesos de negocio.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 7

1. Procesos de negocio, calidad, lenguajes y herramientas de modelado 9

1.1 Procesos de negocio 9

1.2 Modelado de procesos de negocios 10

1.3 Calidad de los modelos de procesos de negocio 11

1.4 Lenguaje para el modelado de procesos de negocio 9

1.4.1 Otras características de BPMN 17

1.5 Herramientas de modelado en BPMN 19

1.6 Interpretación de archivos de salida 23

2. Evaluación de modelos de procesos de negocio utilizando la teoría de los grafos . 28

2.1 Grafos 28

2.1.1 Representaciones para grafos 29

2.1.2 Aplicaciones de los grafos 30

2.2 Directrices prácticas 31

2.2.1 Directrices prácticas relacionadas con el tamaño 32

2.2.2 Directrices prácticas relacionadas con la morfología 39

2.3 Extracción de datos de los modelos 46

CONCLUSIONES 49

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Soporte de las directrices por las herramientas.....21

Figura 1.2 Grado de soporte de las directrices de complejidad. 22

Figura 1.3 Ejemplo de modelo de proceso de negocio 23

Figura 1.4 Estructura del fichero .bpmn generado por Bonita. 25

Figura 1.5 Estructura del fichero .xpdl generado por Bizagi. 27

Figura 2.1 a) Proceso con más de dos eventos inicio.....35

Figura 2.1 b) Sustitución de varios eventos de inicio por uno……29

Figura 2.2 a) Proceso con más de dos eventos de fin.....35

Figura 2.2 b) Sustitución de varios eventos de fin por uno…….29

Figura 2.3 Modelo de proceso de negocio BPMN (caso de estudio # 1).....32

Figura 2.4 a) Modelo de proceso de negocio no estructurado. 39

Figura 2.4 b) Versión equivalente bien estructurada……33

Figura 2.5 Proceso oficina de adquisición de libros (caso de estudio # 2). 41

Figura 2.6 Seudografo resultante de la transformación del proceso. 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Problemas de tamaño presentes en el modelo del caso de estudio # 1. 30

Tabla 2.2 Problemas de morfología presentes en el modelo del caso de estudio # 1. 45

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los adelantos tecnológicos han abierto nuevas posibilidades a las organizaciones para realizar sus negocios, lo cual, entre otras causas, provoca que las organizaciones deban ser capaces de reaccionar ágilmente a los cambios e integrarlos rápidamente con el fin de aumentar la competitividad del negocio [1-3]. Esto implica acciones de análisis, diseño, implementación, y una readaptación de los procesos organizacionales. Por esta razón, es relevante comunicar, entender y manejar el dominio de la información y los procesos, para comprender el fin y realizar una correcta gestión de requerimientos basada en la comprensión de las actividades de cualquier organización [4]. Esta idea se asume por el concepto de Gestión de Procesos de Negocio (BPM por sus siglas en inglés), el cual constituye una forma esencial de controlar y gobernar los procesos de negocio para cualquier organización con el objetivo de mejorar su rendimiento empresarial.

Una parte esencial de BPM como concepto de gestión, es el modelado de procesos de negocio, que requiere una abstracción de los procesos del mundo real con el fin de asignarlos a los modelos de procesos. Solo entonces los modelos pueden servir mejor a su propósito de modelado y ser útiles para la gestión de procesos de negocio. De ahí que sus objetivos principales son: a) mejorar la comprensión de una situación para que pueda comunicarse entre los inversionistas del negocio; y b) usar el proceso como una herramienta para lograr las metas de un proyecto de desarrollo de procesos [5]. Aunque el modelado de procesos de negocio tiene varios años de desarrollo, las investigaciones sobre los aspectos relacionados con su calidad son relativamente recientes [6]. La calidad en el modelado de procesos de negocio puede definirse como: «el cumplimiento de todas las propiedades deseables de un modelo para satisfacer las necesidades de los usuarios del modelo» [7]. Un problema notorio relacionado con la calidad de los modelos es la baja competencia que pueden poseer modeladores casuales en proyectos de documentación de procesos [8]. Debido a que grandes proyectos en la documentación

de procesos se confían a modeladores noveles y no expertos, una guía adecuada en el modelado es de particular importancia [9].

Existen diferentes enfoques para incrementar la calidad de los modelos de procesos de negocio que pueden ser beneficiosos. Con el objetivo de ofrecer una guía práctica a los modeladores, varios estudios han propuesto directrices de calidad que persiguen la introducción directa en la práctica de resultados de investigaciones experimentales para la mejora de la calidad de los modelos de procesos de negocio. Estas directrices se encuentran dispersas en la literatura y no son implementadas en su mayor parte por las distintas herramientas de modelación, por lo que no existe ninguna que realice un análisis de un modelo basándose en las mismas y que ofrezca sugerencias al programador.

1. Procesos de negocio, calidad, lenguajes y herramientas de modelado

En este capítulo se aborda la gestión de procesos de negocio como punto de partida para el desarrollo de *software*. Una vez formalizado el concepto de proceso de negocio en entornos BPM, se presenta el modelado como fase de vital importancia para la gestión de estos, así como la descripción de lenguajes y herramientas para su representación. Se analizan distintos lenguajes para el modelado de procesos de negocio, así como un conjunto de herramientas de modelado. Se presentan investigaciones relacionadas con la calidad en el modelado de procesos de negocio. Finalmente, se analiza la estructura de los archivos de salida que contienen modelos de procesos de negocio creados por dos herramientas de modelado, y se define una estructura de datos para representar el modelo con el objetivo de evaluar la calidad del mismo.

1.1 Procesos de negocio

Para conseguir los objetivos de una empresa, sus actividades se organizan por medio de un conjunto de procesos de negocio, los cuales se pueden identificar a partir de la determinación y estructuración de sus objetivos estratégicos [10]. En la literatura referente al tema, se han propuesto varias definiciones para procesos de negocio. Según P. Wohed, un proceso de negocio consiste en un conjunto de actividades que se desarrollan en coordinación con un ambiente técnico y organizacional [11]. Cada proceso de negocio es ejecutado por una organización, pero esta puede interactuar con otras. Por otra parte, T. H. Davenport plantea que un proceso simplemente es «un conjunto estructurado y medible de actividades diseñadas para producir un producto especificado, para un cliente o mercado específico, que implica un fuerte énfasis en CÓMO se ejecuta el trabajo dentro de la organización, en contraste con el énfasis en el QUÉ, característico de la focalización en el producto» [12]. En *Workflow Patterns,* de W. M. P. van der Aalst, se define un proceso de negocio como un conjunto de actividades interrelacionadas, iniciadas en respuesta a un evento, que permite obtener un

resultado específico para el cliente del proceso [13]. El evento se hace corresponder con la petición específica del resultado que genera el proceso, y el cliente sería el beneficiario del resultado generado por el proceso de negocio. C. Marshall plantea que todo proceso de negocio tiene un objetivo definido, por lo que cada uno de ellos debe definir cómo la organización consigue alcanzar ese objetivo [14].

Por su parte, la organización que escribe sobre estándares de flujos de trabajo y BPM, WfMC (*Workflow Management Coalition*), define un proceso de negocio como un conjunto de uno o más procedimientos o actividades que de manera conjunta permiten alcanzar un objetivo de negocio, normalmente dentro del contexto de una estructura organizacional que define roles y relaciones.

De manera general se puede concluir que un proceso de negocio es una forma de organizar el trabajo y los recursos para alcanzar objetivos determinados en las organizaciones, a través de un conjunto de actividades que se llevan a cabo en determinado orden.

1.2 Modelado de procesos de negocios

Un modelo es una abstracción o representación simplificada de un sistema complejo que puede ser real o conceptual. Un modelo se diseña para mostrar ciertas características del sistema que se desea estudiar, predecir, modificar o controlar. Por tanto, un modelo incluye determinados aspectos, pero no todos, del sistema que se pretende analizar [11].
Los modelos de procesos de negocio ayudan a formalizar el flujo de trabajo de las organizaciones mediante la descripción de las actividades requeridas para cumplir con los objetivos del negocio. Estos modelos ayudan a incrementar la eficiencia de los Sistemas de Información (SI), y permiten reducir la complejidad para entender el comportamiento relevante [13].

El objetivo fundamental de un modelo de proceso de negocio es facilitar su comprensión por parte de los involucrados. Asimismo, proporciona también las bases para la formalización del proceso, lo cual ayuda a verificar propiedades de interés [14]. Por tanto, un modelo de proceso de negocio pretende describir qué es lo que el proceso o sistema hace, qué o quién lo controla, en qué está trabajando, qué elementos requiere para

desarrollar sus funciones y qué produce, y el modelado de estos procesos de negocio es la descripción de dichos modelos mediante lenguajes y herramientas destinadas a ello.

1.3 Calidad de los modelos de procesos de negocio

El mantenimiento y aseguramiento de la calidad de los modelos de procesos de negocios son factores clave [15] debido a que modelos de baja calidad aumentan el esfuerzo de desarrollo o no cumplen con las expectativas de los usuarios. Según J. Mendling, un modelo debe poseer tres nociones de calidad [16]. Primeramente, una correspondencia que establece una representación de origen natural o artificial. Segundo, solo se representan en el modelo los atributos relevantes del origen y el resto se omite. Es por esto que el modelo ofrece una abstracción en términos de un homomorfismo en un sentido matemático [17]. Tercero, el modelo se usa por el modelador en lugar del origen en un cierto momento o con un determinado objetivo. En los últimos años han surgido diversas propuestas para evaluar aspectos de los procesos de negocio a partir del modelo que los representa gráficamente. Algunas de estas propuestas se basan en la noción de que al evaluar el proceso en fases tempranas de desarrollo, es posible obtener información sobre la complejidad del proceso, predecir la probabilidad de error, etc. [18], ya que es más difícil entender y modificar un modelo con un alto grado de complejidad. Es por ello que con una adecuada medición a nivel conceptual, se pueden obtener modelos más fáciles de entender, y esto facilita elegir entre varias alternativas de modelado. De esta manera, una forma de evaluar la calidad del modelo es analizarlo desde el punto de vista estructural. Según O. I. Lindland, G. Sindre y A. Solvberg, la calidad de un producto final depende en gran medida de la precisión durante la etapa de la especificación de requisitos y está centrada en la mejora en las fases tempranas de desarrollo [19].

Otros estudios sobre la calidad de los modelos de procesos de negocio consisten en la creación de marcos de trabajo para la calidad [19-24]. Los marcos de trabajo intentan producir orden y esclarecimiento en la representación de la calidad en los modelos conceptuales y en la calidad del proceso de modelado conceptual [19], definiendo los niveles de calidad que un determinado modelo debe cumplir [25]. No obstante, solo una

pequeña porción de investigadores trabajan en el ámbito de la calidad vinculado a los marcos de trabajo [26, 27]. Existen otros trabajos relacionados con la calidad de los modelos de procesos de negocio que investigan medidas de calidad [28], las que toman en consideración aspectos estructurales de estos modelos [29]. La calidad interna de los modelos de procesos puede verse desde diversas aristas, y por ende debe ser cuantificada con más de una medida para obtener la mayor cantidad de información posible de un modelo dado. Los resultados de la evaluación de las medidas son más precisos si se utilizan valores críticos, que puedan indicar cuándo la calidad comienza a declinar. Estos valores límites se conocen como umbrales, y pueden tratarse como alarmas que ofrecen alertas cuando hay baja calidad.

J. Mendling ofrece un amplio conjunto de medidas de calidad, subdividido en cinco partes como se refieren a continuación [30]:

Medidas de tamaño: Varios documentos apuntan al «tamaño» como un factor importante para la comprensión de los modelos de procesos de negocio, dado que a menudo este es relacionado con el número de nodos del modelo de proceso. Estas medidas ofrecen las cantidades de los diferentes elementos del modelo; se hace un conteo de los elementos (o nodos) del modelo, se pueden contar todos o hacer una selección de los principales y contar solo esos [31]. Un ejemplo de una medida de tamaño es el *número de elementos*, que se describe a continuación:

Definición: Número de elementos [30]

Medida: (1)

Donde N es el número de nodos del modelo de proceso. Valor de umbral asociado según Mendling [32]: 31.

Medidas de densidad: Incluye aquellas medidas que relacionan el número de nodos con el número de arcos del modelo. Ejemplo de medida de densidad es el *grado promedio de las compuertas*, que se expone a continuación:

Definición: Grado promedio de las compuertas [30]

Medida: — (2)

Valor de umbral según Sánchez González [33]: 3,83.

Medidas de modularidad: En este grupo se incluyen las medidas que cuantifican aquellos aspectos de un modelo de proceso que conciernen a la interrelación de los

subcomponentes del modelo con el modelo global; pueden dar proporciones del nivel de separación, de secuencialidad, estructura y profundidad del modelo. Como ejemplo de medida de modularidad se presenta la medida de *profundidad*:

Definición: Profundidad [30].

Medida: (3)

Donde es el conjunto de elementos del seudografo *G* del modelo de proceso, y es el mínimo entre y . Para calcular se define un algoritmo donde para cada elemento *n* visitado, el nuevo valor se actualiza tomando como base los valores de los elementos predecesores visitados y el valor actual de acuerdo a la siguiente regla:

De manera análoga se define . Valor de umbral según Sánchez González [34]: 1.

Medidas de conectividad: Presenta medidas relacionadas con los conectores y su interacción. Constituyen una medida de cómo está la desigualdad y la heterogeneidad de las compuertas en el modelo. Un ejemplo de medida de conectividad es la medida *incongruencia de las compuertas*, que se muestra a continuación:

Definición: Incongruencia de las compuertas [30].

Medida: (4)

Donde *y l* es el tipo de compuerta del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral asociado según Sánchez González [34]: 4.

Medidas de ciclicidad y concurrencia: Este grupo cuenta con medidas tales como la ciclicidad que brinda la relación del número de nodos en un ciclo con respecto al número de nodos en el modelo y la concurrencia que muestra cómo es el acumulado del grado de salida de las compuertas. Un ejemplo de medida en este subgrupo es la *ciclicidad*, descrita a continuación:

Definición: Ciclicidad [30].

Medida: — (5)

Donde es el número de elementos que pertenecen a un ciclo, y es el número total de elementos del modelo.
Valor de umbral según J. Mendling [32]: 0,005.
Definición: Número de ciclos en el modelo [35].
Medida: (6)
Donde es el número de ciclos en el modelo.

Las medidas ofrecen la noción de características deseables en los modelos de procesos para lograr mayor comprensibilidad de los mismos y menor probabilidad de error desde el punto de vista cuantitativo. Sin embargo, no son lo suficientemente prácticas para servir de guía a los modeladores. Una *directriz práctica* en el contexto de modelado de procesos de negocio constituye una buena práctica o consejo explícito que ofrece una guía sobre cómo un modelo de proceso puede mejorarse y cuál alternativa de un conjunto de representaciones de comportamiento equivalente debe preferirse, lo cual sirve como una importante herramienta de transferencia de conocimiento desde la academia hacia la práctica del modelado [8].

Las directrices prácticas se encuentran clasificadas dentro de dos grupos principales de acuerdo a I. Moreno Montes de Oca y M. Snoeck [36]. Estos son: directrices de complejidad general y directrices de representación visual. Estos grupos a su vez se dividen en directrices de tamaño y de morfología para las directrices de complejidad general, y directrices de estilo de etiquetado y de diseño para las de representación visual. Los autores mencionados anteriormente [36] proponen veinticinco directrices prácticas para el modelado de procesos de negocio. Para determinar si un modelo contiene los problemas asociados con las directrices, se usan medidas de calidad. Sin embargo, el cálculo manual de las medidas asociadas a las directrices con vistas a evaluar los modelos de procesos de negocio, es trabajoso y se complejiza a medida que aumenta el tamaño de los modelos a examinar. Es por ello que la existencia de una herramienta para la evaluación de estas medidas asociadas a las directrices es un aspecto útil, sobre todo para la docencia en la enseñanza del modelado de procesos de negocio, y para las investigaciones realizadas en esta área. Este trabajo particulariza en las directrices prácticas de complejidad general, con el fin de mejorar la calidad de los modelos de procesos de negocio. Las mismas ofrecen mejoras desde el punto de vista

tanto semántico como sintáctico en cuanto a la corrección [24, 37-39] de los modelos desde la perspectiva de la presencia de errores de comportamiento.

1.4 Lenguaje para el modelado de procesos de negocio

Al modelar un proceso se busca desarrollar una descripción lo más exacta posible de este, así como de las actividades y demás elementos que lo conforman. Es una actividad mediante la cual un proceso se representa o describe usando lenguajes apropiados que faciliten la comunicación de la representación, su documentación, la comprensión del proceso y la visualización de las interrelaciones que existen entre las distintas actividades que lo definen. Los lenguajes notacionales permiten representar gráficamente un modelo de proceso. Estos lenguajes definen su conjunto de reglas semánticas y sintácticas que establecen los elementos y las relaciones que son parte de los procesos. El modelado de procesos de negocio es también conocido como especificación de flujos de trabajo. Para modelar un flujo de trabajo, es necesario hacer uso de un lenguaje o herramienta de modelado.

Entre los lenguajes de modelado de procesos de negocio se pueden mencionar:

Redes de Petri: Las redes de Petri fueron creadas por el alemán Carl Adam Petri en 1962. En su tesis doctoral «Comunicación con autómatas», establece los fundamentos para el desarrollo teórico de los conceptos básicos de las redes de Petri que representan una alternativa para modelar el comportamiento y la estructura de un sistema. Comparadas con otros modelos de comportamiento dinámico gráfico, como los diagramas de las máquinas de estados finitos, las redes de Petri ofrecen una forma de expresar procesos que requieren sincronía. Y quizás lo más importante es que estas redes pueden ser analizadas de manera formal y obtener información del comportamiento dinámico del sistema de modelado [40].

Diagramas de actividades de UML (Unified Modeling Language): Es un lenguaje ampliamente utilizado para modelar y diseñar sistemas que presentan facilidad de uso [41]. Según A. Rodríguez, E. Fernández-Medina y M. Piattini [42], los diagramas de actividad son los elementos de UML 2.0, que son utilizados para representar procesos de negocio y flujos de trabajo, y soportan gran variedad de dominios. De acuerdo con los

estudios realizados por P. Wohed, W. M. P. van der Aalst, M. Dumas, A. H. M. ter Hofstede y N. Russell [43, 44], en estos diagramas la unidad fundamental de especificación del comportamiento es una acción, que toma un conjunto de entradas y genera un conjunto de salidas, y puede modificar el estado del sistema. Las acciones pueden invocar una operación, modificar valores de objetos o realizar cálculos sobre sus entradas. También se utiliza el concepto de actividades o acciones [45].

EPC (Event Process Chan): Ha sido desarrollado dentro del esquema de una Arquitectura de Sistemas de Información Integrados (ARIS por sus siglas en inglés) y se utiliza en el modelado, diseño y reingeniería de los procesos de negocio. Esta arquitectura presenta una vista funcional, una vista organizacional y una vista de datos [30, 46]. Se puede utilizar para la configuración de planificaciones empresariales y para la mejora de procesos de negocio [47]. Dentro de sus componentes se encuentran los de tipo función para capturar actividades de un proceso, elementos tipo evento para describir pre y poscondiciones de funciones y conectores lógicos que describen las relaciones lógicas entre los elementos (eventos y funciones) en el flujo de control [48].

IDEF (Integrated Definition for Function Modeling): Es una familia de técnicas de modelado que ofrecen una perspectiva integrada para representar y modelar procesos y estructuras de datos. La familia IDEF consiste en un gran número de técnicas, entre las cuales se destacan IDEF0 e IDEF3, que son aquellas relacionadas con los procesos de negocio, aunque existen otras versiones como IDEF1, IDEF1X, IDEF2, IDEF4 e IDEF5. IDEF0, por una parte, ofrece una metodología para representar las actividades que conforman un sistema o empresa, que permite representar qué se persigue obtener, facilitando la representación de la visión estratégica y la comunicación entre usuarios no técnicos. Su elemento principal es la función o actividad, la cual posee un control, una entrada, un mecanismo y una salida. IDEF3, por otra parte, es una metodología para representar el flujo de trabajo de un proceso, así como sus objetos participantes. Facilita la representación de cómo se lleva a cabo el trabajo y la comunicación con el propietario mismo del proceso. Los componentes fundamentales que emplea IDEF3 en su representación son: unidad de trabajo, ligas, conexiones y referencias [49].

XPDL (XML Process Definition Language): Fue creado por la WfMC en el año 2001 y el 3 de octubre de 2005 se liberó la versión 2.0. Su formato de archivo está

basado en XML [50], el cual permite intercambiar modelos de procesos de negocio entre herramientas diferentes. Incluye elementos tales como el tamaño y las coordenadas X y Y de un nodo, que son las líneas que indican el camino a seguir. Los nodos y las líneas tienen atributos que pueden especificar información sobre la ejecución del proceso, tales como roles, descripción de actividades, temporizadores, llamadas a servicios (*web* o de otro tipo), etc. La versión 2.0 incluye extensiones para representar todos los elementos de BPMN.

BPMN (Business Process Modeling Notation): Ofrece una notación gráfica estandarizada para el modelado de procesos de negocio. Según la OMG (Object Management Group) [51], permite diseñar gráficamente procesos de negocio en su totalidad. La especificación describe dos niveles de abstracción en el proceso de modelado: un nivel detallado que contiene únicamente un conjunto de elementos gráficos utilizados por el analista de negocio, y un nivel que establece la correspondencia entre estos elementos y un lenguaje de ejecución. Uno de los objetivos de BPMN es proporcionar un mecanismo simple para crear modelos de procesos de negocio, reduciendo su complejidad.

Este trabajo se enfoca en modelos creados utilizando la notación BPMN, debido a que este es el estándar propuesto por la OMG para la captura de procesos de negocio. Asimismo, nos centramos en este tipo de modelo por su amplio uso tanto en la academia como en la industria, así como por su gran popularidad entre analistas de negocio, vendedores de herramientas (62 según la OMG), practicantes y usuarios. Además, según P. Wohed [52], BPMN es una notación fácil de usar por los analistas de negocio para documentar y comunicar sus procesos dentro de las compañías y con los participantes externos del negocio. Esta notación posee asimismo una amplia riqueza semántica al permitir expresar todos los patrones del flujo de trabajo, por lo que a continuación se dedica una sección a este lenguaje.

1.4.1 Otras características de BPMN

Esta notación está diseñada para coordinar la secuencia de los procesos y mensajes que fluyen entre los participantes de las diferentes actividades de una forma clara, completa

y eficiente [53]. Su objetivo es soportar la gestión de una forma que sea fácilmente entendida por todos los usuarios que participan en el proceso. Esta forma unificada de representar los procesos facilita la expresión de los comportamientos y decisiones en una organización. Además permite que los diagramas y gráficos se conviertan en estructuras que se integran a las tecnologías de información que tiene la empresa para adelantar el proceso. Tales elementos tienen una relación uno a uno con las instrucciones en el Lenguaje de Ejecución de Procesos de Negocio (BPEL por sus siglas en inglés), lo cual permite generar un código ejecutable a partir de un modelo BPMN.

BPMN proporciona cuatro categorías básicas que permiten modelar los procesos de negocio. Estas categorías son de fácil comprensión y reconocimiento. Pueden estar sujetas a variaciones y se les puede añadir información adicional para soportar los requerimientos y complejidades cambiando el diseño del diagrama.

Las cuatro categorías fundamentales de BPMN son:

- Objetos de flujo: Esta categoría incluye eventos, actividades y compuertas. Los eventos consisten en un suceso durante el curso del proceso de negocio. Afectan al flujo del proceso. Normalmente tienen una causa (disparador) o un impacto (resultado). Dependiendo del momento en que afectan al flujo serán eventos iniciales, intermedios o finales. Las actividades son términos genéricos para el trabajo que realiza una compañía. Pueden ser atómicas (tareas) o compuestas (subprocesos). Las compuertas, por último, se utilizan para controlar la convergencia o divergencia de flujos. Representan una decisión para mezclar o unir caminos [54].
- Objetos conectivos: Consisten en las líneas que conectan los elementos del diagrama a través de flujos de secuencia (conectan elementos del mismo *pool*), flujos de mensajes (conectan elementos de diferentes *pools*), y asociaciones (ayudan a esclarecer las entradas y salidas) [54].
- Contenedores: Estos componentes se usan para segmentar el diagrama en áreas que contienen una sucesión de actividades relacionadas por los flujos de secuencia con el objetivo de ilustrar capacidades funcionales distintas o responsabilidades. BPMN da soporte a dos construcciones principales, estas son:

- *Pool*: Actúa como contenedor gráfico para segmentar un conjunto de actividades procedentes de otros *pools* y pueden representar varios elementos dentro de una organización. Las actividades separadas por ellos se consideran procesos [55].
- *Lanes:* Es una subpartición dentro de un *pool* que se extiende a lo largo de este. Se utilizan para organizar y categorizar actividades [56].

- Artefactos: Los artefactos son elementos que ayudan a la notación del modelo, de modo que el lector pueda entender mejor el contexto de las actividades y acciones que se representan en el mismo.

Este trabajo se enfoca a los elementos de las categorías *objetos de flujo*, *objetos conectivos* y *contenedores*.

1.5 Herramientas de modelado en BPMN

Con el aumento del uso de la gestión de procesos por parte de las empresas, cada vez se requiere de mejores herramientas para el análisis de los diferentes procesos que describen todas las tareas y roles de los empleados y socios de negocio, así como el mejoramiento de las aplicaciones de *software* que los soportan y los flujos de trabajo tanto internos como externos. Todo esto es esencial para alcanzar las metas de negocio de una compañía.

Para la realización de este trabajo se analizó un grupo de herramientas en su mayoría de código abierto y de libre acceso en la red. Estas permiten el modelado de los procesos bajo los términos de Licencia Pública General [57], que ha tomado mucho auge entre los modeladores de negocio [58, 59]. Algunas de las herramientas que se analizaron fueron:

- Aris Express: Es una herramienta flexible y agradable para la vista de cualquier usuario. Como principal ventaja posee la posibilidad de efectuar modelados, ya que no restringe las conexiones y posee los diferentes tipos de tareas requeridas. Como desventaja presenta el inconveniente de que el modelo es más difícil de

entender para los usuarios por el hecho de no permitir nombres en las conexiones. Solo pueden agregarse anotaciones de texto, lo cual hace que no se cumpla la especificación BPMN [60].

- Camunda: Es una aplicación para la edición de diagramas de procesos BPMN. Es muy fácil de usar, lo que significa que los analistas de negocios la pueden utilizar para desarrollar sus propios diagramas. Además del modelado visual, Camunda también permite editar todas las propiedades que son necesarias para la ejecución técnica. Desde la misma se puede trabajar directamente sobre archivos XML y BPMN, los desarrolladores la pueden combinar fácilmente con su IDE (Integrated Development Environment) preferido, por ejemplo: Eclipse, Netbeans [61].
- Bonita: Es una herramienta de código abierto que permite el modelado y la gestión de procesos de negocio y flujos de trabajo. Esta ha tomado mucho auge entre los modeladores de negocio. Según un estudio realizado por M. Chinosi y A. Trombetta [53], resultó ser la mejor de las herramientas de código abierto para modelar procesos de negocio usando la notación BPMN. Permite al usuario crear y modificar gráficamente los procesos de negocio con el estándar BPMN. También admite conectar procesos a otras piezas del sistema de información para generar una aplicación de negocios autónoma accesible como un formulario *web*. Además, el usuario puede trabajar con procesos diseñados con otros estándares y tecnologías tales como XPDL o jBPM [62].
- Signavio: Para trabajar con Signavio se hace *online*, lo que evita consumo de disco, permite el modelado de procesos de forma multilingüe y mantiene los atributos de proceso y los procesos de enlace jerárquicamente. Todos los modelos de proceso se guardan en un repositorio central de proceso. Combina las ventajas de una solución de modelado profesional con las ventajas de un servicio en la nube flexible [63].
- Bizagi Process Modeler: Modela procesos de negocio de un modo comprensible para los usuarios finales, para que luego sea automatizada, enganchándolos con una arquitectura de servicio (a través de servicios *web*). Tiene la capacidad de simular el comportamiento de un sistema, medirlo y optimizarlo [4].

- Visual Paradigm: Es una herramienta CASE (Computer Aided Software Engineering) aplicable en todo el ciclo de vida del desarrollo del *software*. Soporta UML y BPMN. Permite dibujar todos los tipos de diagramas de clases, generar códigos desde diagramas y generar documentación; además, ofrece una función de animación de procesos de negocio [64].

Para la realización de este trabajo se utilizaron las herramientas de modelado de procesos de negocio Bonita y Bizagi. Para ello se tuvo en cuenta el soporte que brindan estas herramientas a las directrices prácticas. Este soporte se determinó a partir de un estudio realizado en conjunto entre la Universidad Ku Leuven de Bélgica y la Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas [65]. En el mismo se determina el soporte de las herramientas de modelado para un conjunto de directrices. Para lograrlo, se crearon 50 modelos BPMN que incumplían cada directriz y se introdujeron en las herramientas. De esta forma se pudo concluir que el 21 % de los casos revelaron algún tipo de soporte, lo que indica un soporte individual de las directrices relativamente bajo. La mayoría de los desarrolladores de herramientas conocen las directrices, pero existen grandes diferencias entre las herramientas en cuanto al soporte de aquellas (como se muestra en la Figura 1.1), donde es posible observar que las herramientas Bizagi y Bonita carecen de soporte para una parte significativa de las directrices de complejidad.

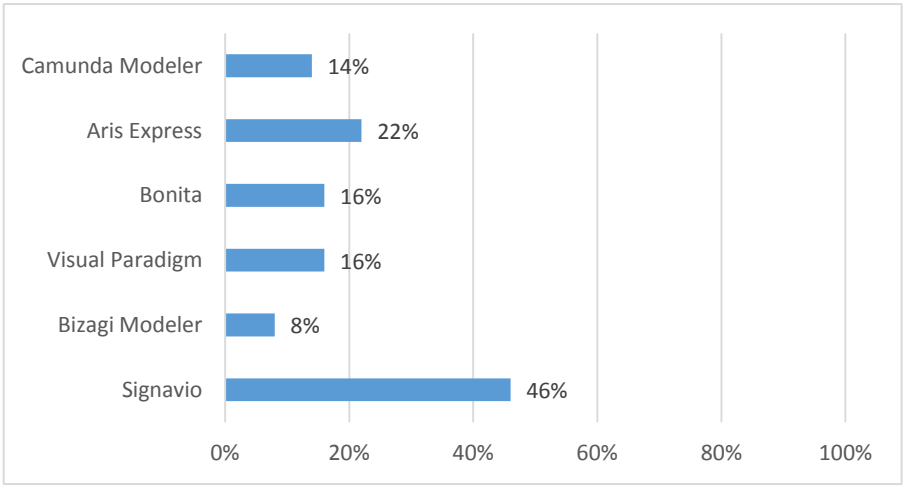


Figura 1.1. Soporte de las directrices por las herramientas.

La Figura 1.2 muestra una representación del grado de soporte por categoría por las herramientas antes mencionadas.

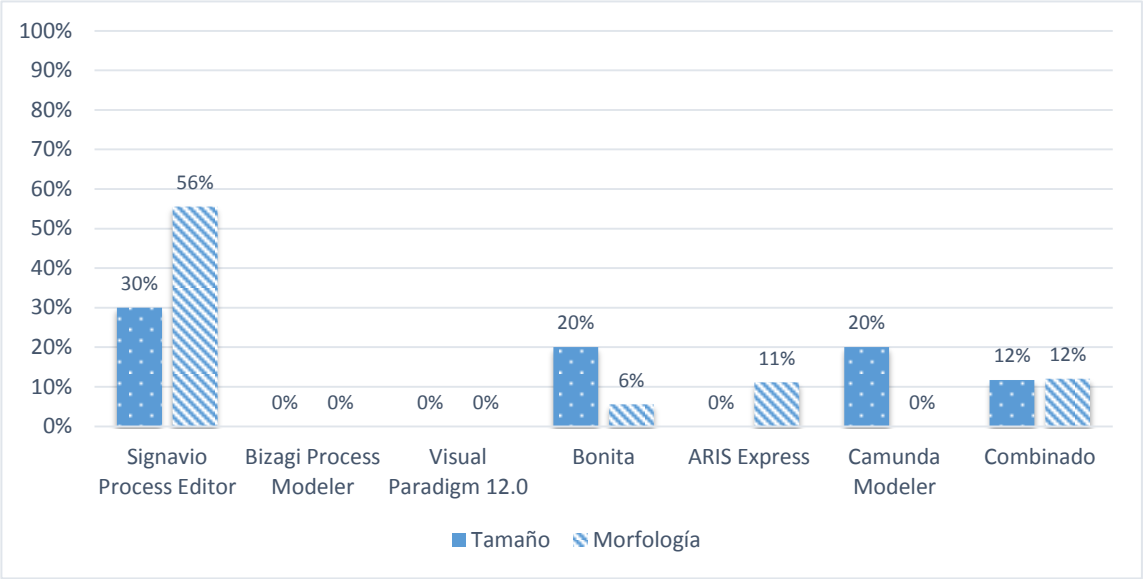


Figura 1.2. Grado de soporte de las directrices de complejidad.

Es posible observar cómo las herramientas seleccionadas no soportan del todo las directrices de tamaño y morfología.

También se tuvo en cuenta el formato de exportación de las herramientas, que se encuentra directamente ligado con la posibilidad de ejecutar procesos, que es donde se determina la facilidad para exportar la información. Ambas herramientas exportan la información del modelo a varios tipos de ficheros. Los formatos escogidos para este trabajo fueron .bpmn de Bonita y .xpdl de Bizagi. Estos formatos son representados como ficheros XML donde se almacena toda la información del «dibujo» del seudografo que representa la definición del proceso. Por esta razón, incluye elementos tales como el tamaño y las coordenadas X y Y de un nodo o las líneas que indican el camino a seguir. Los nodos y las líneas tienen atributos que pueden especificar información sobre la ejecución del proceso, tales como: roles, descripción de actividades, temporizadores, llamadas a servicios (*web* o de otro tipo), etc.

1.6 Interpretación de archivos de salida

Como se menciona en la sección anterior, como parte de este trabajo se evalúan ficheros exportados obtenidos a partir del modelado en Bizagi y Bonita con extensión .xpdl y .bpmn respectivamente. En la Figura 1.3 se muestra un ejemplo de modelo de proceso de negocio compuesto por tres tareas, dos eventos (uno de inicio y otro de salida) y dos compuertas (una de división de flujo y otra de unión de flujo).

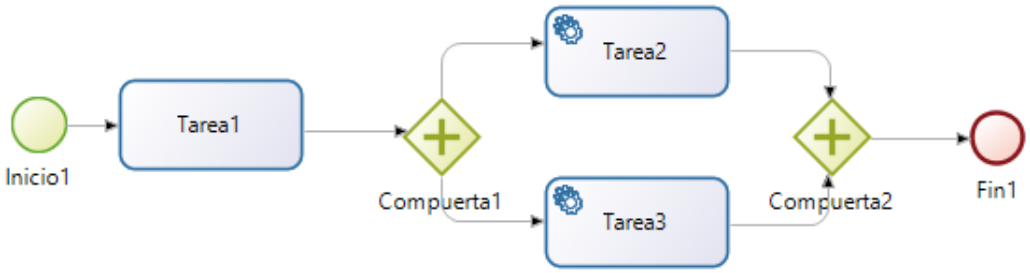


Figura 1.3 Ejemplo de modelo de proceso de negocio.

El archivo .bpmn generado por la herramienta Bonita se divide en tres secciones principales:

1. Información de la herramienta: Muestra información detallada de la versión de la herramienta utilizada.
2. Información del proceso: Se muestra información detallada del proceso en sí, como el nombre y el identificador del mismo. Además, en esta sección se describen todos los componentes involucrados en el modelado del proceso de negocio, los cuales se representan como elementos del propio fichero XML:
    - *Pool*: Contiene el nombre del *pool* y un identificador, así como otros datos propios del *pool* del *lane*: se muestra el nombre y un identificador, así como datos propios de los *lanes*.
    - Eventos: Se visualiza el tipo de evento, es decir, evento de inicio, intermedio o de fin. Además incluye el nombre y un identificador característico para cada uno.

- Tareas: Se representa el tipo de tarea, un identificador propio y el nombre, así como el tipo de tarea representada.
- Compuertas: Se muestra el tipo de compuerta, un identificador y el nombre, y el identificador de cada conector asociado a dicha compuerta.
- Conectores: Las conexiones entre los objetos de flujo de BPMN (eventos, actividades y compuertas) se representan en el archivo XML, con el encabezado `model:flowNodeRef`. En la descripción de cada conector se muestra el tipo de este y un identificador, así como el identificador del elemento donde comienza la conexión (*source*) y el identificador del elemento donde finaliza dicha conexión (*target*).

3. Información de estilos y notación del diagrama: Contiene información detallada de los estilos de cada elemento del diagrama (forma, dimensiones, colores, tipo de letra para el etiquetado) y las coordenadas en píxeles donde está ubicado cada elemento en el área de representación del esquema.

La Figura 1.4 muestra la estructura general del fichero .bpmn generado por la herramienta Bonita. En esta figura se aprecian las tres secciones anteriormente descritas.

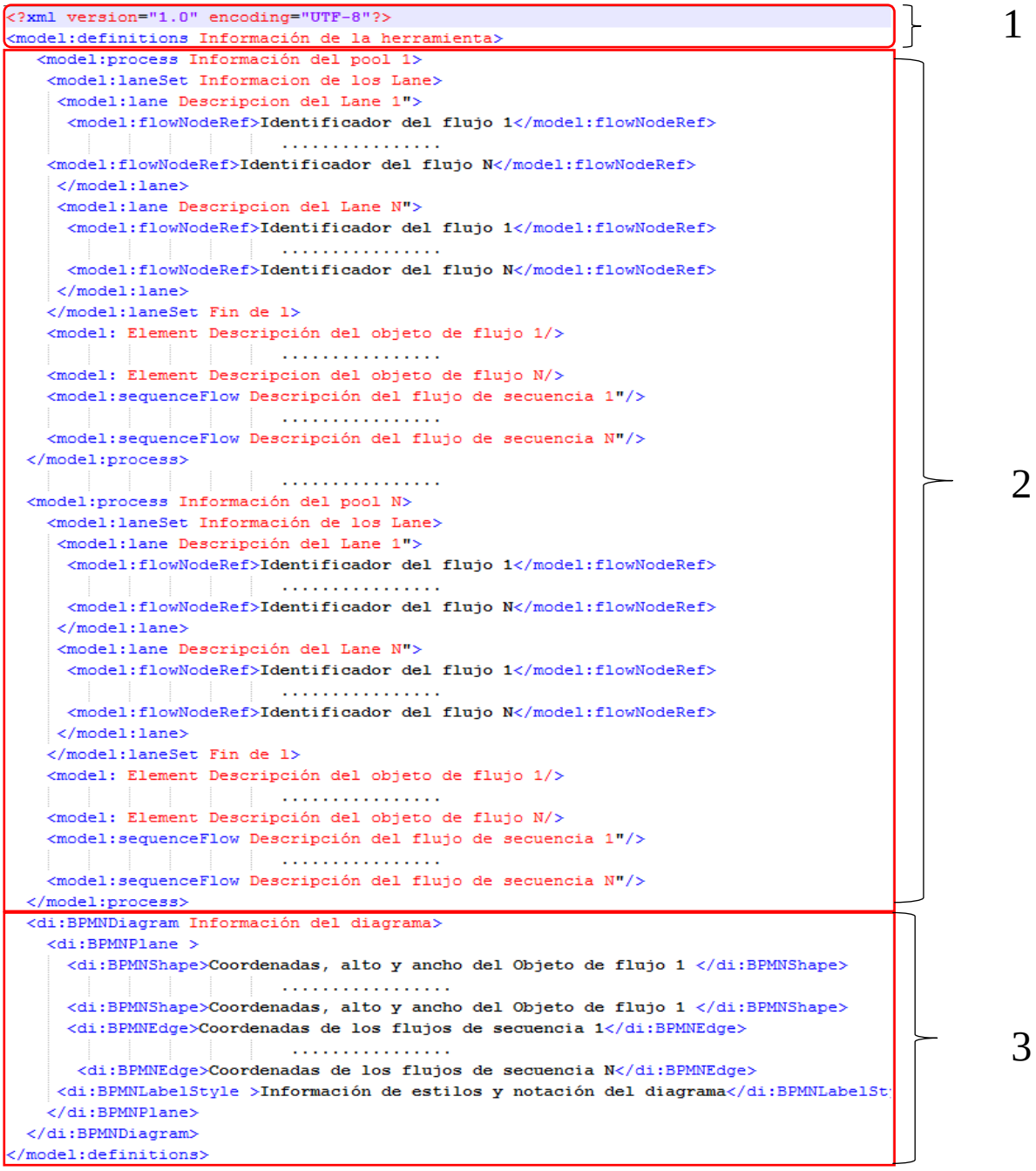


Figura 1.4 Estructura del fichero .bpmn generado por Bonita.

Los archivos .xpdl generados por la herramienta Bizagi muestran una estructura similar al formato explicado anteriormente. El archivo se divide en tres partes fundamentales: una primera parte donde se exponen datos de la herramienta como autor, versión y hora de creado el modelo. En la segunda sección se muestra la información

referente al proceso. Se exhiben todos los *pools*, así como los *lanes* pertenecientes a cada uno. Tanto los *lanes* como los *pools* contienen una descripción detallada de sus principales características: identificador, nombre, coordenadas y estilo de etiquetas. En este formato no existe una sección correspondiente al estilo y coordenadas de cada elemento del proceso debido a que esta información aparece comprendida en la definición de cada elemento. Como tercera sección tenemos lo referente a los componentes del flujo del proceso, las tareas, eventos y compuertas son representados a través de etiquetas *activity,* las cuales diferencian el tipo de elemento al que hace referencia a través de nodos hijos. El formato .xpdl almacena la información para mostrar gráficamente los flujos de secuencia dentro del nodo <*Transitions*>, el cual adiciona nodos <*Transition*> por cada flujo de secuencia que contiene el proceso. Los nodos <*Transition*> contienen un identificador así como los atributos *from* y *to* para indicar el origen y destino del mismo.

En la Figura 1.5 se muestra la estructura general del fichero .xpdl generado por Bizagi que fue descrito anteriormente.

Figura 1.5 Estructura del fichero .xpdl generado por Bizagi.

2. Evaluación de modelos de procesos de negocio utilizando la teoría de grafos

Este capítulo describe las directrices prácticas de morfología que se deben evaluar en los modelos de procesos de negocio, así como el prototipo de *software* desarrollado mediante la exposición de algunos diagramas creados durante las fases de análisis y diseño de la herramienta. Además, se describe el funcionamiento de la misma.

2.1 Grafos

Los grafos son entidades matemáticas que permiten representar relaciones entre objetos. Pueden definirse como un conjunto no vacío de objetos llamados vértices (o nodos) y una selección de pares de vértices, llamados aristas. Típicamente, un grafo se representa mediante una serie de puntos (los vértices) conectados por líneas (las aristas) [66].

A continuación se presenta un conjunto de definiciones y notaciones que se asumen en este trabajo:

- Un grafo G = G (V, A) está formado por un conjunto no vacío de vértices V y un conjunto de aristas A. Cada arista es un par <v, w>, donde v, w $\in$ V. En ocasiones, las aristas tienen una tercera componente, que se denomina peso o costo [53].
- Un grafo puede ser dirigido o no dirigido. A un grafo dirigido se le llama digrafo.
- Los vértices se denominan también nodos o puntos y son objetos que pueden tener nombre y otras propiedades.
- Las aristas se denominan también arcos y son conexiones entre dos vértices y representan relaciones entre los objetos.
- Un seudografo G = (V, E, f) es una terna, donde $V \neq \emptyset$ es el conjunto de nodos, E es el conjunto de aristas y f una función definida como $f: E \rightarrow VxV \cup \{\{u, v\}; u \in V, v \in V\}$.

2.1.1 Representaciones para grafos

Existen diferentes formas de representar grafos para el trabajo con los mismos. La estructura de datos usada depende de las características del grafo y el algoritmo destinado a su manipulación. Entre las estructuras más sencillas y usadas se encuentran las listas y las matrices [67], aunque frecuentemente se usa una combinación de ambas. Las listas son preferidas en grafos dispersos porque tienen un eficiente uso de la memoria. Por otro lado, las matrices proveen un acceso rápido, pero pueden consumir grandes cantidades de memoria.

Estructura de lista:

- Lista de incidencia: Las aristas se representan con un vector de pares donde cada par representa una de las aristas. Estos pares son ordenados si el grafo es dirigido.
- Lista de adyacencia: Cada vértice tiene una lista de vértices que son adyacentes a él. Esto causa redundancia en un grafo no dirigido, ya que *A* existe en la lista de adyacencia de *B* y viceversa. Las listas de adyacencia facilitan las búsquedas más rápidas, aunque poseen un costo extra de almacenamiento.

Estructuras matriciales:

- Matriz de incidencia: El grafo está representado por una matriz de aristas (*A*), por vértices (*V*), donde [*A,V*] contiene la información de la arista (1 - conectado, 0 - no conectado).
- Matriz de adyacencia: El grafo está representado por una matriz cuadrada M de tamaño , donde es el número de vértices. Si hay una arista entre un vértice "*x*" y un vértice "*y*", entonces el elemento es 1, de lo contrario, es 0.

2.1.2 Aplicaciones de los grafos

Gracias a la teoría de grafos se pueden resolver diversos problemas como por ejemplo la síntesis de circuitos secuenciales, contadores o sistemas de apertura. Se utiliza para diferentes áreas: en dibujo computacional, y en todas las áreas de ingeniería. Los grafos se utilizan también para modelar trayectos como el de una línea de autobús a través de las calles de una ciudad, en el que es posible obtener caminos óptimos para el trayecto aplicando diversos algoritmos.

La teoría de grafos también ha servido de inspiración para las ciencias sociales, en especial para desarrollar un concepto no metafórico de red social que sustituye los nodos por los actores sociales y verifica la posición, centralidad e importancia de cada actor dentro de la red. Esta medida permite cuantificar y abstraer relaciones complejas, de manera que la estructura social puede representarse gráficamente. Por ejemplo, una red social puede representar la estructura de poder dentro de una sociedad al identificar los vínculos (aristas), su dirección e intensidad, y ofrece una idea de la manera en que el poder se transmite y a quiénes.

Los grafos también son útiles en el modelado de procesos de negocio, pues un modelo de proceso de negocio puede ser analizado como un grafo dirigido, donde los objetos de flujo son los vértices del grafo y los objetos conectivos son las aristas. Debido a que los modelos de procesos de negocio pueden contener aristas paralelas y bucles, una representación más exacta es a través de seudografos dirigidos. De esta forma se puede realizar un análisis de los elementos BPMN en los ficheros .bpmn *y* .xpdl generados por Bonita y Bizagi respectivamente, realizando un cotejo entre estos elementos y la estructura de un seudografo dirigido. Una vez realizado el mapeo, se lleva a cabo el cálculo de las directrices de calidad.

2.2 Directrices prácticas

El estándar BPMN proporciona a las organizaciones la capacidad de comprensión de sus procesos internos de negocio en una notación gráfica y la capacidad de comunicar sus procedimientos de manera estándar. Además, define todos los elementos que conforman un modelo de procesos de negocio. Sin embargo, el uso del estándar no garantiza que los procesos se modelen de forma clara y comprensible. La forma en que los modeladores interpretan las condiciones de negocio y cómo definen su estructura, es crucial para asegurar que se entienden correctamente y que están libres de errores [68]. Para ello, el estándar ofrece un conjunto de reglas que ayudan a los modeladores a comprender mejor los modelos de procesos de negocios y contribuyen a que el modelo esté sintácticamente bien representado. Estas reglas están relacionadas con los principales elementos de modelado de los procesos de negocio. Existen reglas relacionadas con los eventos. Una de estas plantea que los eventos finales deben estar referenciados por uno o varios flujos de secuencia. Plantea además que se deben utilizar eventos finales por separado para identificar cuándo un proceso terminó con éxito y cuándo no. Otro conjunto de reglas se refieren a las compuertas y su forma de representación, planteando que las mismas son graficadas como rombos trazados por una línea fina. De forma general estas reglas están orientadas a la forma de representación de los componentes en el diagrama, y a la manera específica en que deben aparecer los componentes en el modelo en cuanto a color, tamaño, líneas de trazado y texto que aparece en el mismo.

Estas reglas no están relacionadas con la calidad de los modelos de procesos de negocio en general, sino que están orientadas a la calidad sintáctica de los mismos. Es por eso que en *Pragmatic guidelines for Business Process Modeling,* de I. Moreno Montes de Oca y M. Snoeck [36], se propone un conjunto de directrices aplicables a los modelos de procesos de negocio que permiten obtener modelos con mayor calidad pragmática, empírica y semántica y lo más reales y cercanos posible al proceso en cuestión. Sin embargo, al no contar con una herramienta que permita evaluar la calidad de los modelos de procesos de negocio y con el objetivo de automatizar dicha evaluación, se seleccionan un conjunto de medidas asociadas a las directrices para su

implementación en la herramienta SAD_BPMN. En la guía anteriormente mencionada [36] se presenta un patrón que tiene como objetivo formular las directrices de forma homogénea. Para la automatización de la evaluación de las directrices en este trabajo se tomaron los siguientes elementos del patrón:

- Problema: Características cuya ocurrencia denota la infracción de la directriz.
- Directriz unificada: La propuesta de este trabajo para la formulación de la directriz para BPMN de forma tal que resuma todas las directrices relacionadas encontradas en la literatura en una sola directriz.
- Medidas asociadas: Listan las medidas estructurales para cuantificar la ocurrencia de los problemas en los modelos.

A continuación se presentan las directrices de tamaño siguiendo el formato mencionado anteriormente y explicando en algunos casos la interpretación de las mismas.

2.2.1 Directrices prácticas relacionadas con el tamaño

Algunos estudios ofrecen directrices relacionadas con el tamaño debido a que los modelos de mayor tamaño son más difíciles de mantener, de comprender, y tienen mayores probabilidades de contener errores [8, 32, 69].

Problema 1 (alto número de elementos): El modelo contiene un alto número de elementos como compuertas de división/unión, actividades y eventos.

Directriz unificada: Evite los modelos con más de 31 elementos.

Medida asociada:

Definición:	Número de elementos [30]
Medida:	(1)
Donde *N* es el número de nodos del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral asociado según Mendling: 31 [32].	

Al representar un modelo de proceso de negocio este puede quedar demasiado grande, por lo que la comprensión del mismo puede resultar una tarea compleja [70]. Esta directriz sugiere usar tan pocos elementos como sea posible por cada nivel de modelo de

proceso, y en particular sugiere descomponer este si tiene más de 31 objetos de flujo. Esto permite reducir la presencia de errores y mejorar la calidad pragmática, empírica y sintáctica del modelo.

Problema 2 (alto número de eventos): El modelo contiene más de siete eventos.

Directriz unificada: Evite los modelos con más de siete eventos.

Medida asociada:

Definición: Número de eventos [30].

Medida: (2)

Donde es el número de eventos del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Sánchez-González: 7 [34].

Problema 3 (alto número de eventos de inicio): El modelo contiene más de dos eventos de inicio.

Directriz unificada: No utilice más de dos eventos de inicio.

Medida asociada:

Definición: Número de eventos de inicio [30].

Medida: (3)

Donde es el número de eventos de inicio del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Mendling: 2,5 [32].

Problema 4 (ausencia de eventos de inicio): Los modelos no poseen evento de inicio.

Directriz unificada: No omita el evento de inicio.

Medidas asociadas: Se asocia la medida (3).

Los problemas 3 y 4 pueden unificarse en una misma directriz práctica: «no omita el evento de inicio y utilice dos como máximo».

Problema 5 (alto número de eventos de fin): El modelo contiene más de dos eventos de fin.

Directriz unificada: No utilice más de dos eventos de fin.

Medida asociada:

Definición: Número de eventos de fin [30].

Medida: (4)

Donde es el número de eventos de fin del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Mendling: 2,5 [32].

Problema 6 (ausencia de eventos de fin): Los modelos no poseen eventos de fin.

Directriz unificada: No omita el evento de fin.

Medida asociada: Se asocia la medida (4).

Problema 7 (alto número de eventos intermedios): Los modelos poseen un alto número de eventos intermedios.

Directriz unificada: Evite los modelos con un alto número de eventos intermedios.

Medida asociada:

Definición: Número de eventos intermedios [30].

Medida: (5)

Donde es el número de eventos intermedios del seudografo *G* del modelo de proceso. No se cuenta con un valor de umbral para esta medida.

Las directrices relacionadas con los problemas del 3 al 7 evalúan la presencia de los eventos en los modelos. Según Sánchez-González [34], varias investigaciones han demostrado que los modelos con más de siete eventos son difíciles de comprender. Algunos autores recomiendan usar solo un evento de inicio y un evento de fin, esto disminuye la probabilidad de errores aunque la presencia de dos eventos de tipo fin e inicio respectivamente es correcto. En la Figura 2.1 se muestra un modelo que contiene más de dos eventos de inicio y la solución de este problema de acuerdo a la directriz 3. En la Figura 2.2 se muestra lo mismo para el caso de un modelo con más de dos eventos de fin. Estas directrices plantean que la presencia de eventos según la cantidad especificada anteriormente permite una mejor comprensión del modelo y disminuye la probabilidad de error.

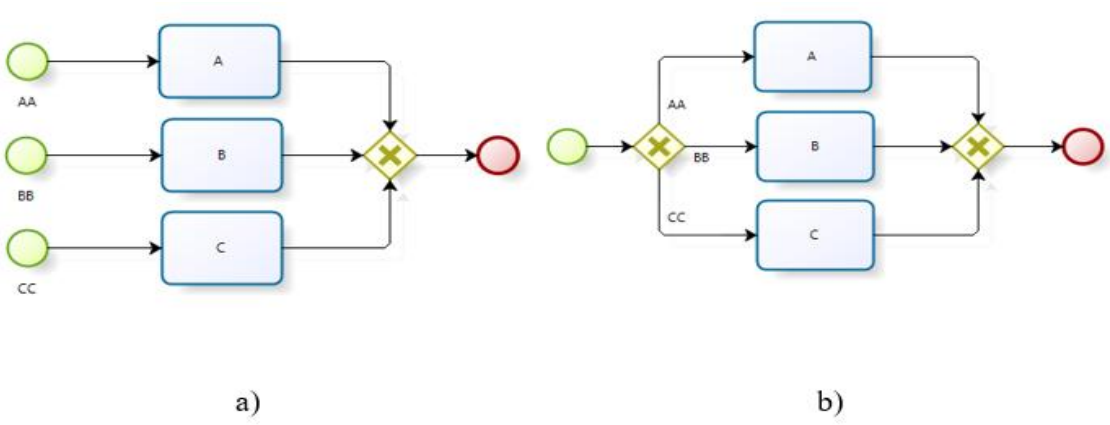


Figura 0.1: a) Proceso con más de dos eventos inicio. b) Sustitución de varios eventos de inicio por uno.

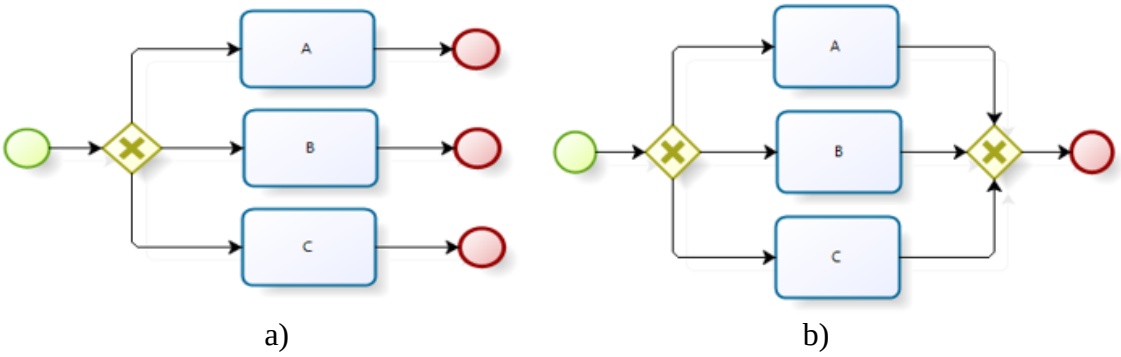


Figura 0.2: a) Proceso con más de dos eventos de fin. b) Sustitución de varios eventos de fin por uno.

Problema 8 (alto número de flujos de secuencia): El modelo contiene más de 34 flujos de secuencia.

Directriz unificada: Evite los modelos con más de 34 flujos de secuencia.

Medida asociada:

Definición:	Número de flujos de secuencia [30].
Medida:	(6)
Donde	es el número de flujos de secuencia del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Sánchez-González: 34 [71].

El modelo de proceso puede contener un alto número de arcos. Si estos modelos se descomponen en subprocesos la comprensión del modelo se incrementa debido a que el número de arcos se divide entre el proceso y el subproceso, mejorando así la calidad del modelo.

Problema 9 (alto número de compuertas): El modelo contiene más de 12 compuertas de control de flujo.

Directriz unificada: Evite los modelos con más de 12 compuertas.

Medida asociada:

Definición: Número de compuertas [30].

Medida: (7)

Donde es el número de compuertas del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Sánchez González: 12 [33].

Según B. Silver [72] el alto número de compuertas puede reducirse pues las compuertas que unen caminos paralelos e inmediatamente preceden un evento de fin pueden eliminarse.

Problema 10 (alto número de actividades): El modelo contiene más de 31 actividades.

Directriz unificada: Evite los modelos con más de 31 actividades.

Definición: Número de actividades [30].

Medida: (8)

Donde es el número de actividades del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Sánchez-González: 31 [27].

Un alto número de actividades incrementa la posibilidad de error en el modelo, por lo que se recomienda descomponer el modelo como se plantea en el Problema 1 con el objetivo de mejorar la calidad del mismo.

Para la aplicación de las directrices prácticas de tamaño se toma como ejemplo el modelo presentado en la Figura 0.3, el cual corresponde a un proceso de denuncia en las oficinas del Ministerio del Interior (MININT). En el caso de estudio # 1 se muestra el resultado de aplicar estas directrices al modelo. Se muestra el problema relacionado con las directrices cuyas medidas asociadas sobrepasan el umbral establecido para las mismas.

Tabla 0.1 Problemas de tamaño presentes en el modelo del caso de estudio #1

Problema	**Medida asociada**	**Valor**	**Umbral**
Alto número de elementos	Número de elementos:	41	31
Alto número de eventos de inicio	Número de eventos de inicio:	3	2,5
Ausencia de eventos de fin	Número de eventos de fin:	0	
Alto número de flujos de secuencia	Número de flujos de secuencia:	42	34
Alto número de actividades	Número de actividades:	33	31

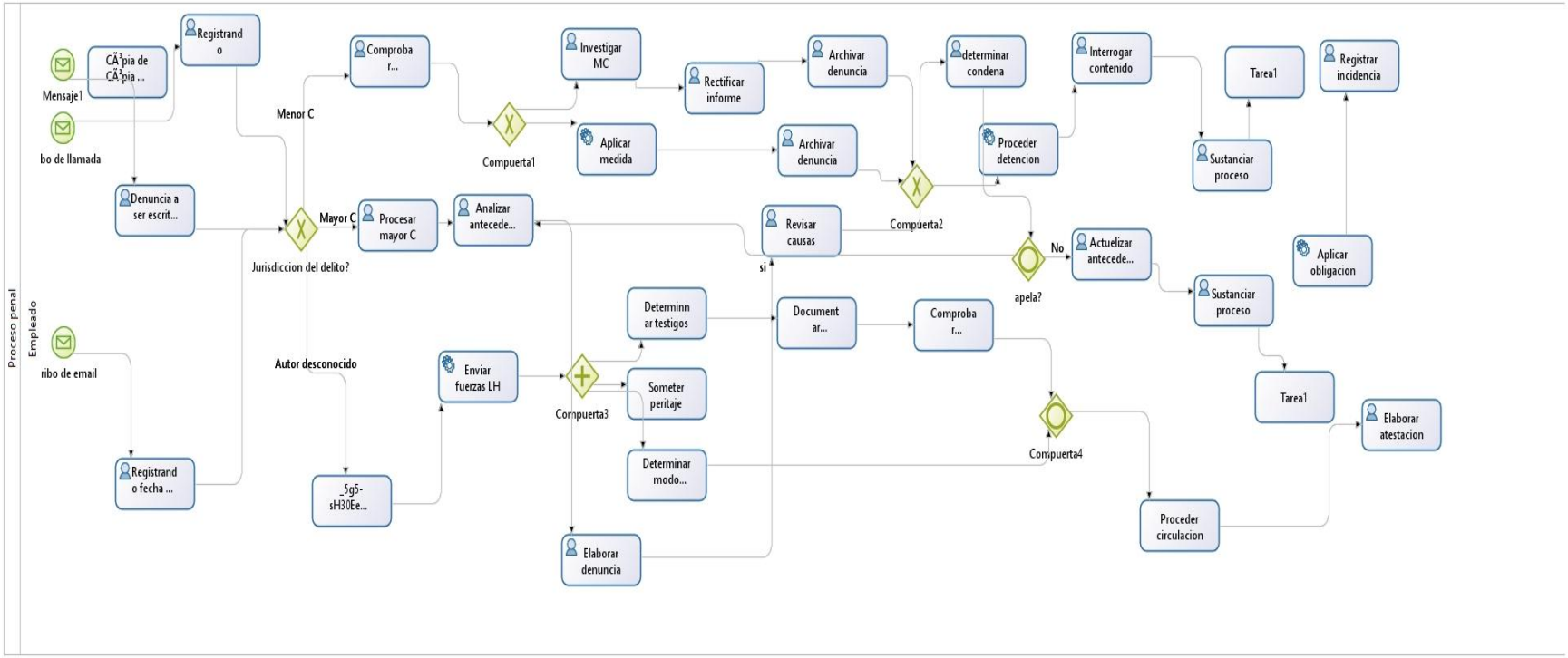


Figura 0.3 Modelo de proceso de negocio BPMN (caso de estudio # 1).

2.2.2 Directrices prácticas relacionadas con la morfología

Existen algunas directrices prácticas cuyo objetivo es la mejora de la corrección semántica de los modelos, así como de la calidad pragmática y empírica.

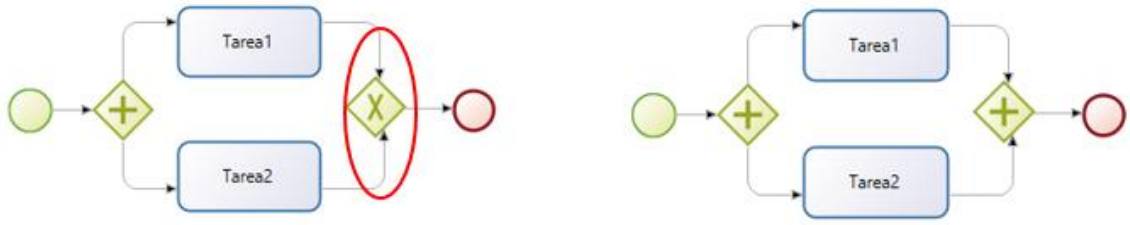
Problema 11 (falta de estructuración en el modelo): La suma de las incongruencias para cada tipo de compuerta está por encima de cuatro.

Directriz unificada: Para cada nodo de decisión establezca un nodo de unión del mismo tipo.

Medida asociada:

Definición:	Incongruencia de las compuertas [30].
Medida:	(9)
Donde	y l es el tipo de compuerta del seudografo G del modelo de proceso. Valor de umbral asociado según Sánchez-González: 4 [34].

Los modelos estructurados pueden verse como fórmulas con paréntesis balanceados, es decir, cada paréntesis que abre tiene su correspondiente paréntesis del mismo tipo que cierra. Esta directriz enfatiza la importancia que posee la estructuración del modelo respecto a sus compuertas. Para mantener el modelo bien estructurado se aplica la topología propuesta por A. Polyvyanyy, L. García-Bañuelos y M. Dumas [73], donde a cada compuerta divisoria de un tipo se le hace corresponder otra compuerta de unión de igual tipo. En la Figura 0.4 se muestra un modelo mal estructurado y otro como resultado de aplicar la directriz.



a) b)

Figura 0.4 a) Modelo de proceso de negocio no estructurado. b) versión equivalente bien estructurada.

Problema 12 (alto número de flujos de secuencia por compuerta): Las compuertas del modelo contienen un alto número de flujos de secuencia de entrada y/o salida.

Directriz unificada: No use más de cinco flujos de secuencia en cada compuerta.

Medidas asociadas:

Definición Grado promedio de las compuertas [30].

Medida: — (10)

Valor de umbral según Sánchez-González: 3,83 [33].

Definición: Grado máximo de las compuertas [30].

Medida: (11)

En (10) y en (11), es el conjunto de compuertas del seudografo *G* del modelo de proceso, y *d*(*c*) es el número de flujos de secuencia a los que se conecta; es decir, la suma del semigrado inicial (número de flujos de secuencia de salida) y del semigrado final (número de flujos de secuencia de entrada) de *c*. Valor de umbral para (11) según Sánchez-González: 5 [33].

Problema 13 (alto número de flujos de secuencias por eventos): Hay más de cuatro flujos de secuencia procedentes de eventos.

Directriz unificada: Utilice a lo sumo cuatro flujos de secuencia de salida en los eventos.

Medida asociada:

Definición: Número de flujos de secuencia procedentes de eventos [20].

Medida: (12)

Donde E es el conjunto de eventos del seudografo G del modelo de proceso y es el semigrado inicial (número de flujos de secuencia de salida) de . Valor de umbral según Sánchez-González: 4 [34].

Problema 14 (múltiples entradas y salidas en la misma compuerta): El modelo contiene compuertas con más de un flujo de entrada y más de un flujo de salida a la vez, es decir, con comportamientos de unión y división.

Directriz unificada: No combine más de un flujo de entrada con más de un flujo de salida en una misma compuerta.

Medidas propuestas:

Definición: Número de compuertas que combinan flujos de entrada y salida.

Medida: (13)

Definición: Razón de compuertas que combinan flujos de entrada y salida con la cantidad total de compuertas.

Medida: —— (14)

Donde , es decir, es el número de compuertas que combinan flujos de entrada y salida (comportamiento de unión y división) en el modelo de proceso y *C* es el número de compuertas del modelo del seudografo *G* del modelo de proceso. Además, *S* es el conjunto de compuertas de división y *J* es el conjunto de compuertas de unión.

Mientras mayor sea la cantidad de flujos de entrada o salida de un elemento del modelo, más difícil será la comprensión del mismo. Esto puede provocar problemas de sincronización, ejemplo de esto es cuando varios flujos se ejecutan en paralelo y se unen a través de una compuerta exclusiva [74]. También pueden producir *deadlock* si se sincronizan utilizando una compuerta de unión paralela [32]. Se deben sincronizar con elementos de unión inclusivos que contribuyan a la estructuración del modelo, pero que a su vez son más complejos de implementar [30, 75]. Las directrices 12, 13 y 14 analizan estos problemas con el fin de mejorar la calidad del modelo.

Problema 15 (múltiples ciclos): El modelo contiene múltiples ciclos.

Directriz unificada: Evite los ciclos en sus modelos de procesos.

Medidas asociadas:

Definición: Ciclicidad [30].

Medida: —— (15)

Donde es el número de elementos que pertenecen a ciclos, y es el número total de elementos del modelo.

Valor de umbral según Mendling: 0,005 [32].

Definición: Número de ciclos en el modelo [35].

Medida: (16)

Donde es el número de ciclos en el modelo.

Problema 16 (ciclos no estructurados): El modelo contiene ciclos con múltiples puntos de salida, es decir, ciclos no estructurados.

Directriz unificada: Evite los ciclos no estructurados.

Medidas propuestas:

Definición: Número de ciclos no estructurados.

Medida: (17)

Definición: Razón entre el número de ciclos no estructurados y el número de ciclos del modelo.

Medida: (18)

Donde es el número de ciclos que poseen más de un punto de salida y es el número de ciclos del modelo.

Problema 17 (ciclos mal formados): La conexión de regreso del ciclo no es una compuerta de división de tipo *xor*, o no regresa a una compuerta de unión de tipo *xor*.

Directriz unificada: Use una compuerta de división de tipo *xor* para retornar en un ciclo, y una compuerta de unión de tipo *xor* para el comienzo del ciclo.

Medidas propuestas:

Definición: Número de ciclos mal formados.

Medida: (19)

Definición: Razón entre el número de ciclos mal formados y el número de ciclos.

Medida: (20)

Donde es el número de ciclos con compuertas de entrada o salida que no son de tipo *xor* y es el número de ciclos del modelo.

Las directrices 15, 16 y 17 tratan el problema de los ciclos en el modelo. Los ciclos son fragmentos del modelo que pueden repetirse *n* veces, convirtiendo a los modelos en diagramas inherentemente no estructurados [76] que son más difíciles de comprender y de mantener [32]. La falta de estructuración a su vez causa alta probabilidad de error, menor comprensión y menor capacidad de modificación de los mismos. Las directrices antes mencionadas proponen soluciones para la mejora del modelo y evitar la aparición de estos ciclos. De ser necesaria la construcción de ciclos, se debe asegurar que se mantenga una correcta estructuración.

Problema 18 (alto nivel de paralelismo): La suma de los grados de salida de las compuertas paralelas (de tipo *and*) y de las compuertas inclusivas (de tipo *or*) es mayor que 8.

Directriz unificada: Evite altos niveles de paralelismo.

Medida asociada:

Definición: Suma de los grados de salida de las compuertas de división de tipo *and* o de tipo *or* menos 1 [30].

Medida: (21)

Donde es el grado de salida de las compuertas del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Mendling: 7,5 [32].

Problema 19 (paralelismo incorrecto): Los caminos paralelos no se sincronizan ni alcanzan eventos finales.

Directriz unificada: Cada camino paralelo debe sincronizarse o alcanzar un evento de fin.

Medida propuesta:

Definición: Número de caminos paralelos que no se sincronizan.

Medida: (22)

Donde es el número de caminos que surgen en compuertas de división paralelas que no se sincronizan y no alcanzan un evento de fin.

Problema 20 (alto nivel de profundidad): El modelo contiene bloques estructurados profundamente anidados.

Directriz unificada: Evite anidamientos profundos de bloques estructurados.

Medidas asociadas:

Definición: Profundidad [30].

Medida: (23)

Donde es el conjunto de elementos del seudografo *G* del modelo de proceso, y es el mínimo entre y . Para calcular se define un algoritmo donde para cada elemento *n* visitado, el nuevo valor se actualiza tomando como base los valores de los elementos predecesores visitados y el valor actual de acuerdo a la siguiente regla:

De manera análoga se define . Valor de umbral según Sánchez-González: 1 [34].

Problema 21 (elementos duplicados): El modelo contiene elementos o fragmentos duplicados que capturan la misma lógica de control de flujo.

Directriz unificada: Evite el uso de elementos y fragmentos duplicados.

Medidas propuestas:

Definición: Número de actividades y eventos duplicados.

Medida: (24)

Donde es el número de actividades y eventos que tienen igual tipo e igual etiqueta y que aparecen repetidos en el modelo.

Definición: Número de fragmentos duplicados.

Medida: (25)

Donde es el número de fragmentos duplicados que presentan la misma lógica de control de flujo y están compuestos por elementos idénticos en el modelo.

Problema 22 (diámetro largo): El modelo contiene un camino largo desde el inicio hasta el fin.

Directriz unificada: Mantenga el camino desde el evento de inicio hasta el evento final tan corto como sea posible.

Medida asociada:

Definición: Diámetro [30].

Medida: (26)

Donde es la distancia geodésica [30] entre los elementos del seudografo *G* del modelo de proceso. Umbral según Sánchez-González: 12,2 [27].

Problema 23 (alta diversidad de compuertas): El modelo contiene compuertas de diversos tipos.

Directriz unificada: Minimice la diversidad de las compuertas utilizadas.

Medida asociada:

Definición: Heterogeneidad de las compuertas [30].

Medida: (27)

Donde es la cantidad de compuertas de un tipo determinado y C es

la cantidad de compuertas del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Sánchez-González: 0,79 [33].

Problema 24 (uso de compuertas de división de tipo *or*): El modelo contiene compuertas de división de tipo *or*.

Directriz unificada: Evite el uso de compuertas de división de tipo *or*.

Medida asociada:

Definición: Número de compuertas de división de tipo *or* [30].

Medida: (28)

Donde es la cantidad de compuertas de división de tipo *or* del seudografo *G* del modelo de proceso. Valor de umbral según Mendling: 0,5 [32].

Problema 25 (alto grado de complejidad): El modelo contiene alta complejidad.

Directriz unificada: Seleccione la alternativa más sencilla al modelar.

Medidas asociadas: Se asocian las medidas desde la (9) a la (28).

En ocasiones las soluciones propuestas a través de modelos de procesos de negocio son muy complejas debido al problema que se quiere representar. En ocasiones las personas añaden complejidad sin sentido al modelo, esto debe evitarse pues perjudica la comprensión del mismo y aumenta la presencia de errores.

En la Tabla 0.2 se muestra el resultado de aplicar las directrices de morfología al modelo del caso de estudio #1 presentado en la Figura 0.3 (p. 32).

Tabla 0.2 Problemas de morfología presentes en el modelo del caso de estudio #1

Problema	**Medida asociada**	**Valor**	**Umbral**
Alto número de flujos de secuencia por compuerta	Grado promedio de las compuertas —	3,66	3,83
	Grado máximo de las compuertas	6	5
Múltiples entradas y salidas en la misma compuerta	Número de compuertas que combinan flujos de entrada y salida:	1	0
	Razón de compuertas que combinan flujos de entrada y salida con la cantidad total de compuertas:	0,17	0

	———		
Múltiples ciclos	Número de ciclos en el modelo:	1	0
	Ciclicidad: ———	0,12	0,005
Ciclos mal formados	Número de ciclos mal formados:	1	0
	Razón entre el número de ciclos mal formados y el número de ciclos: ———	1	0
Elementos duplicados	Número de actividades y eventos duplicados:	3	0
	Número de fragmentos duplicados:	1	0
Uso de compuertas de división de tipo *or*	Número de compuertas de división de tipo *or*:	1	0,5
Alto grado de complejidad	Se asocian las medidas de la (9) a la (28)		

2.3 Extracción de datos de los modelos

Para el almacenamiento de datos de los modelos de procesos de negocio es necesario utilizar una estructura de datos que permita generar información, donde se puedan realizar distintos análisis con vistas a mejorar la calidad de los mismos. Como se menciona en el capítulo anterior, con el uso de seudografos es posible expresar procesos y sistemas que requieren sincronización para su análisis de manera general y para la obtención de información del comportamiento dinámico de estos. En este trabajo se hace uso de seudografos dirigidos que se implementan a través de listas de adyacencia. Esto permite una adecuada representación de los modelos de procesos de negocios, además de que posibilita almacenar información adicional de las aristas.

Para la automatización de la evaluación de los modelos de proceso de negocio BPMN tomando como base directrices de calidad, lo primero que se realiza es el pase de información del proceso a un seudografo dirigido. En el mismo, cada componente del proceso se corresponde con un vértice del seudografo y las transiciones son las aristas que unen a su vez los vértices del mismo. Los nombres de los vértices se corresponden

con el identificador de los componentes, de esta forma se logra que todos los componentes queden representados por vértices. Cada uno de estos almacena el tipo de componente que representa y el nombre del mismo, lo que permite poder diferenciarlos al evaluar.

Para ilustrar el proceso de extracción de datos de un modelo de proceso de negocio se utiliza el ejemplo que se muestra en la Figura 0.5. Este modelo describe el proceso de adquisición de libros en una universidad (caso de estudio # 2). El modelo está compuesto por varias tareas, eventos y compuertas. La Figura 0.6 muestra el seudografo correspondiente al modelo proporcionado en el caso de estudio # 2.

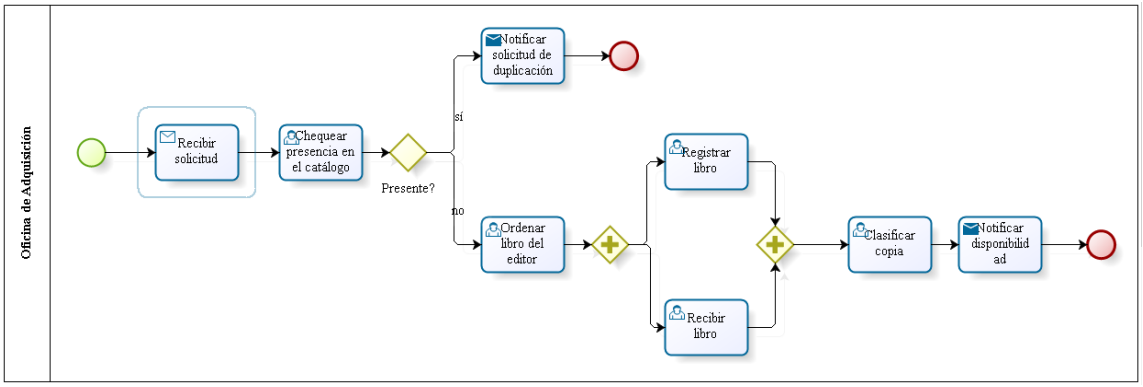


Figura 0.5 Proceso de oficina de adquisición de libros (caso de estudio # 2).

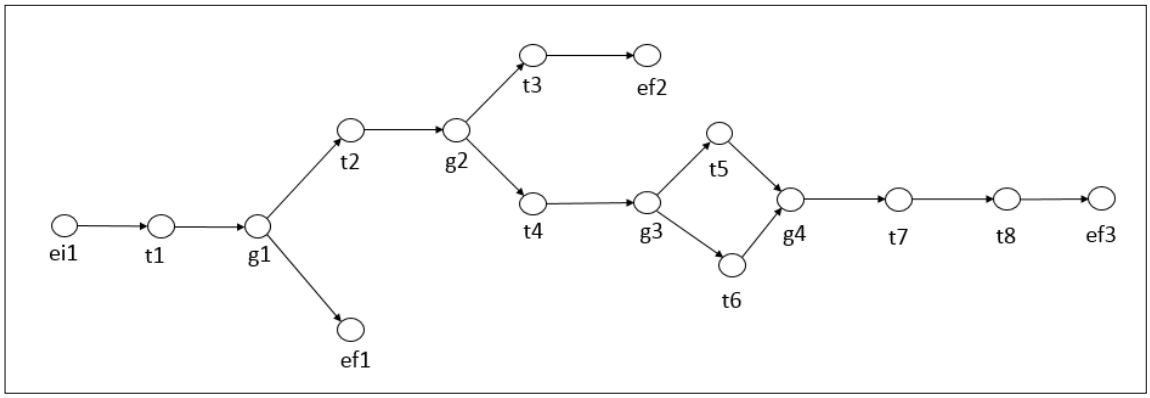


Figura 0.6 Seudografo resultante de la transformación del proceso.

Como se puede observar en la Figura 0.6, cada elemento del proceso se representa por un vértice en el seudografo y de este modo se garantiza que toda la información del modelo se extraiga hacia el seudografo para su posterior evaluación. El seudografo resultante de la extracción de los datos del modelo a partir de los archivos de salida de

las herramientas de modelado es común tanto para los modelos creados por la herramienta Bizagi como por la herramienta Bonita.

CONCLUSIONES

Una buena calidad en los modelos de procesos de negocio es de vital importancia para que estos no se conviertan en un factor de riesgo y para mejorar el desempeño y evolución de las organizaciones. En este trabajo, se propone un conjunto de directrices prácticas de complejidad cuyo propósito fundamental es proveer un apoyo a los modeladores noveles para lograr modelos de procesos de negocio con mayor calidad.

Como resultado de esta investigación, se ha arribado a las conclusiones siguientes:

1. Se formuló la estructura interna de los archivos generados por las herramientas de modelado de procesos de negocio Bizagi y Bonita.
2. Se almacenó la información contenida en los archivos de salida generados por herramientas de modelado, utilizando seudografos como estructura de datos para su posterior análisis.
3. Se propuso una forma de evaluar los modelos de procesos de negocio mediante un conjunto de directrices prácticas de calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LAUDON, K.C. and J.P. LAUDON (2011). *Management information systems*. Vol. 8. New Jersey: Prentice Hall.
2. RAINER, R.K. et al. (2013). *Introduction to information systems: Supporting and transforming business*. New York: John Wiley & Sons.
3. STAIR, R. and G. REYNOLDS (2012). *Fundamentals of information systems*. Cengage Learning.
4. BIZAGI (2015). *Bizagi Process Modeler User's Guide*. Available from: http://help.bizagi.com/processmodeler/es/.
5. MULTAMÄKI, M. (2002). *Objective-driven planning of business process modeling.* Helsinki: Department of Industrial Engineering and Management, Helsinki University of Technology.
6. MENDLING, J., H.A. REIJERS and J. RECKER (2010). Activity labeling in process modeling: Empirical insights and recommendations. *Information Systems*, 35 (4): 467-482.
7. BANDARA, W., G.G. GABLE and M. ROSEMANN (2005). Factors and measures of business process modelling: model building through a multiple case study. *European Journal of Information Systems*, 14 (4): 347-360.
8. MENDLING, J., H.A. REIJERS and W.M.P. VAN DER AALST (2010). Seven process modeling guidelines (7PMG). *Information and Software Technology*, 52 (2): 127-136.
9. MENDLING, J. (2007). *Detection and Prediction of Errors in EPC Business Process Models*. Vienna: University of Economics and Business Administration.
10. MISKIN, C. (2002). Taxonomies. *Legal Information Management*, 2 (1): 16-23.
11. WOHED, P. et al. (2006). Pattern-based Analysis of BPMN. Available from: https://eprints.qut.edu.au/2977/1/2977.pdf
12. DAVENPORT, T.H. (2013). *Process innovation: reengineering work through information technology*. Harvard: Harvard Business Press.

13. VAN DER AALST, W.M.P. et al. (2002). Workflow Patterns. Available from: http://www.workflowpatterns.com/documentation/documents/wfs-pat-2002.pdf
14. MARSHALL, C. (2000). *Enterprise Modeling with UML. Designing Successful Software through Business Analysis*. Massachusetts: Addison Wesley Longman.
15. LEOPOLD, H., S. SMIRNOV and J. MENDLING (2012). On the refactoring of activity labels in business process models. *Information System*, 37 (5): 443-459.
16. MENDLING, J. (2007). Detection and Prediction of Errors in EPC Business Process Models. (Doctoral thesis), Austria: Institute of Information Systems and New Media, Vienna University of Economics and Business Administration (WU Wien).
17. KÜHNE, T. (2006). Matters of (meta-) modeling. *Software and Systems Modeling*, 5 (4): 369–385.
18. MOODY, D.L. (2005). Theoretical and practical issues in evaluating the quality of conceptual models: current state and future directions. *Data & Knowledge Engineering*, 55 (3): 243-276.
19. LINDLAND, O.I., G. SINDRE and A. SOLVBERG (1994). Understanding quality in conceptual modeling. *IEEE Software*, 11 (2): 42-49.
20. KROGSTIE, J., G. SINDRE and H. JØRGENSEN (2006). Process models representing knowledge for action: a revised quality framework. *European Journal of Information Systems*, 15 (1): 91-102.
21. REIJERS, H., J. MENDLING and J. RECKER (2010). Business process quality management, in *Handbook on Business Process Management 1* (pp. 167-185). Berlin: Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-45100-3_8
22. NELSON, H.J. et al. (2012). A conceptual modeling quality framework. *Software Quality Journal*, 20: 201-228.
23. SCHUETTE, R. and T. ROTTHOWE (1998). The Guidelines of Modeling. An Approach to Enhance the Quality in Information Models, in T. Wang Ling, S. Ram and M. L. Lee (eds.), *Proceedings of the 17th International Conference on Conceptual Modeling* (pp. 240–254). Singapore: Springer..
24. BECKER, J., M. ROSEMANN and C. VON UTHMANN (2000). Guidelines of business process modeling, in W. van der Aalst, J. Desel and A. Oberweis (eds.), *Business*

Process Management. Models, Techniques, and Empirical Studies (pp. 241-262). Berlin: Springer.

25. PÉREZ SANTIAGO, J. (2014). Directrices Prácticas para la Modelación Conceptual de Procesos del Negocio. (Tesis de Diploma), Santa Clara: Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
26. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. (2013). Toward a quality framework for business process models. *International Journal of Cooperative Information Systems*, 22 (1): 35.
27. _____ et al. (2015). A case study about the improvement of business process models driven by indicators. *Software and Systems Modeling* (july): 1-30.
28. _____ (2011). Towards thresholds of control flow complexity measures for BPMN models. in *Proceedings of the 2011 ACM symposium on Applied computing* (pp. 1445-1450). New York: Association for Computing Machinery (ACM).
29. _____(2010). Prediction of Business Process Model Quality Based on Structural Metrics, in J. Parsons, M. Saeki, P. Shoval, C. Woo and Y. Wand (eds.), *Conceptual Modeling–ER 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6412 (pp. 458-463). Berlin: Springer-Verlag.
30. MENDLING, J. (2008). *Metrics for process models: empirical foundations of verification, error prediction, and guidelines for correctness*. Berlin: Springer-Verlag.
31. GRUHN, V. and R. LAUE (2006). Complexity metrics for business process models, in W. Abramowicz and H.C. Mayr (eds.), *9th International Conference on Business Information Systems (BIS 2006). Lecture Notes in Informatics*, vol. 85 (pp. 1-12). Klagenfurt, Austria.
32. MENDLING, J. et al. (2012). Thresholds for error probability measures of business process models. *Journal of Systems and Software*, 85 (5): 1188-1197.
33. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. et al. (2012). Quality indicators for business process models from a gateway complexity perspective. *Information and Software Technology*, 54 (11): 1159-1174.

34. _____ (2013). Improving Quality of Business Process Models, in L.A. Maciaszek and K. Zhang (eds.), *Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering, ENASE 2011* (pp. 130-144). Beijing: Springer.

35. NISSEN, M.E. (1998). Redesigning reengineering through measurement-driven inference. *MIS Quarterly*, 22 (4): 509-534.

36. MORENO-MONTES DE OCA, I. and M. SNOECK (2015). *Pragmatic guidelines for Business Process Modeling*. Belgium: Faculty of Economy and Business, KU Leuven.

37. QI, Y., N. QU and X. XIE (2010). Towards a preliminary ontology for conceptual model quality evaluating, in F. Lee Wang et al. (eds.), *Proceedings of the International Conference on Web Information Systems and Mining (WISM),* vol. 1 (pp. 329–334). Sanya, China: IEEE.

38. MOHAGHEGHI, P., V. DEHLEN and T. NEPLE (2009). Definitions and approaches to model quality in model-based software development. A review of literature. *Information and Software Technology*, 51 (12): 1646-1669.

39. RITTGEN, P. (2010). Quality and perceived usefulneses of process models, in *Proceedings of the 2010 ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 65-72). New York: ACM. Switzerland: Sierre.

40. DANEVA, M. (1999). A best practice based approach to CASE-tool selection, in *Proceeding ISESS '99 Proceedings of the 4th IEEE International Symposium and Forum on Software Engineering Standards*. Washington D.C: IEEE Computer Society.

41. OMG (2004). *UML Superstructure Specification version 2.0*. Massachusetts: O.M. Group.

42. RODRÍGUEZ, A., E. FERNÁNDEZ-MEDINA and M. PIATTINI (2006). Capturing Security requirements in Business Processes Through a UML 2.0 Activity Diagrams Profile. *Lecture Notes in Computing Science*, 4231: 32-42.

43. WOHED, P., W. M. P. VAN DER AALST, M. DUMAS, A. H. M. TER HOFSTEDE and N. RUSSELL (2005). Pattern Based Analysis of the Control-Flow Perspective of UML Diagrams. *ACM Transactions on Programming Languages and System*, 3716: 63-78.

44. RUSSELL, N., W. M. P. VAN DER AALST, A. H. M. TER HOFSTEDE and P. WOHED (2006). On the suitability of UML 2.0 activity diagrams for business process modeling, in *Proceeding APCCM '06 Proceedings of the 3rd Asia-Pacific conference on Conceptual modelling*, 53: 95-104.

45. WOHED, P. et. al. (2006). On the Suitability of BPMN for Business Process Modeling. *Lecture Notes in Computing Science*, 4102: 161-176.

46. KORHERR, B. and B. LIST (2007). Extending the EPC and the BPMN with Business Process Goals and performance Measures, in *International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS)* 3: 287-294.

47. HOMMES, L.J. (2004). *The evaluation of business process modeling techniques*. Delft: Delft University of Technology (TU Delft).

48. LAUE, R. and J. MENDLING (2010). Structuredness and its significance for correctness of process models. *Information Systems and E-Business Management*, 8 (3): 287-307.

49. KIKUCHI, Y. et al. (2012). Analysis and Modeling of Information Required for Process Assessment on Environment, Health, and Safety by IDEF0 and UML, in I.A. Karimi and R. Srinivasan (eds.), *11th International Symposium on Process Systems Engineering*, part B (pp. 1392-1396). Amsterdam: Elsevier.

50. GEIGER, M. and G. WIRTZ (2013). Detecting Interoperability and Correctness Issues in BPMN 2.0 Process Models, in Oliver Kopp and Niels Lohmann (eds.), *Services and their Composition. 5th Central European Workshop, Zeus 2013* (pp. 39-43). Stuttgart/Rostock: Universitä t Stuttgart/Universitä t Rostock.

51. WHITE, S.A. (2006). *Business Process Model and Notation (BPMN) Specification-(2006)*. Massachusetts: Object Management Group (OMG).

52. WOHED, P. et al. (2006). On the Suitability of BPMN for Business Process Modeling. *Lecture Notes in Computing Science*, 4102: 161-176.

53. CHINOSI, M. and A. TROMBETTA (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, 34 (1): 124-134.

54. WHITE, S.A. (2013). *Introduction to BPMN. IBM Corporation (2004)*.

55. BRAMBILLA, M., P. FRATERNALI and C. VACA (2011). BPMN and design patterns for engineering social BPM solutions, in *Business Process Management*

Workshops. BPM 2011. Lecture Notes in Business Information Processing, 99: 219-230.

56. CIUCIU, I. et al. (2011). Semantic support for security-annotated business process models, in *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling. BPMDS 2011, EMMSAD 2011. Lecture Notes in Business Information Processing*, 81: 284-298.
57. STALLMAN, R. (1991). *GNU General Public License*. Boston: Free Software Foundation.
58. HARMON, P. and C. WOLF (2011). *Business Process Modeling Survey*. [cited 2015 July]; available from: http://www.bptrends.com/bpt/wp-content/surveys/Process_Modeling_Survey-Dec_11_FINAL.pdf.
59. BPMN-FORUM (2015). BPMN tool related posts and discussions. [cited 2015 July]; available from: http://bpmnforum.com/bpmn-tools.
60. KRUMNOW, S. and G. DECKER (2010). A concept for spreadsheet-based process modeling, in J. Mendling, M. Weidlich and M. Weske (eds), *Business Process Modeling Notation. BPMN 2010. Lecture Notes in Business Information Processing*, 67: 63-77.
61. KLUZA, K. et al. (2015). Opportunities for Business Process semantization in open-source process execution environments, in *2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. Lodz, Poland: IEEE.
62. ALVARADO CASTILLO, P.A. (2011). *BONITA SOFT: Gestor de procesos de negocios BPM*. Bogotá: Facultad de Ciencias Económicas, Unidad de Informática y Comunicaciones, Universidad Nacional de Colombia.
63. SIGNAVIO (2014). *Guidelines by convention: Signavio Best Practice*. [cited 2015]; available from: http://academic.signavio.com.
64. WANG, M. and L. LU (2012). A transformation method from UML statechartto Petri nets, in *2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE)*. Zhangjiajie, China: IEEE.
65. SNOECK, M. et al. (2015). Testing a Selection of BPMN Tools for Their Support of Modelling Guidelines, in *IFIP Working Conference on The Practice of Enterprise Modeling*, 235: 111-125.

66. WEST, D.B. (2001). *Introduction to graph theory*. Vol. 2. New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River.

67. BIGGS, N.L. (1994). *Matemática discreta*. Barcelona: Vicens Vives.

68. MENDLING, J., M. STREMBECK and J. RECKER (2012). Factors of process model comprehension-Findings from a series of experiments. *Decision Support Systems*, 53 (1): 195-206.

69. WEBER, B. et al. (2011). Refactoring large process model repositories. *Computers in Industry*, 62 (5): 467-486.

70. DUMAS, M. et al. (2012). *Fundamentals of Business Process Management*. New York/London: Springer Heidelberg/Dordrecht.

71. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. et al. (2010). Quality Assessment of Business Process Models Based on Thresholds, in R. Meersman, T. Dillon and P. Herrero (eds.), *On the Move to Meaningful Internet Systems* (pp. 78-95). Hersonissos, Greece: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

72. SILVER, B. (2009). *BPMN: Method and Style*. Cody-Cassidy Press.

73. POLYVYANYY, A., L. GARCÍA-BAÑUELOS and M. DUMAS (2012). Structuring acyclic process models. *Information Systems*, 37 (6): 518-538.

74. KOEHLER, J. and J. VANHATALO (2007). Process anti-patterns: How to avoid the common traps of business process modeling, available from: http://www.ibm.com/developerworks/websphere/techjournal/0702 koehler/0702 koehler.html.

75. KINDLER, E. (2006). On the semantics of EPCs: Resolving the vicious circle. *Data & Knowledge Engineering*, 56: 23-40.

76. DUMAS, M. et al. (2012). Understanding Business Process Models: The Costs and Benefits of Structuredness, in J. Ralyté et al. (eds.), *Advanced Information Systems Engineering*, 7328: 31-46.