



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE HIDALGO

---

---

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E  
INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA

Modelación de Procesos de Negocios utilizando  
redes de Petri. Caso: Organismo operador de agua

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
Doctor en Ciencias en Ingeniería, con Énfasis  
en Análisis y Modelación de Sistemas

P R E S E N T A:  
Samuel Medina García

DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. Joselito Medina Marín

CODIRECTORA DE TESIS:  
Dra. Eva Selene Hernández Gress

Enero 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Área Académica de Ingeniería y Arquitectura

Department of Engineering and Architecture

Número de control: ICBI-AAIyA062/2024

Asunto: Autorización de impresión

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO**  
**DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UA EH**

El Comité Tutorial de Tesis del programa educativo de posgrado titulado “**Modelación de Procesos de Negocios utilizando redes de Petri. Caso: Organismo operador de agua**”, realizado por el sustentante **Samuel Medina García** con número de cuenta **429457** perteneciente al programa de **Doctorado en Ciencias en Ingeniería, con Énfasis en Análisis y Modelación de Sistemas**; una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

### AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente  
“Amor, Orden y Progreso”  
Pachuca, Hidalgo a 29 de enero de 2024

El Comité Tutorial

Dr. Joselito Medina Marin  
Director

Dr. Oscar Montaña Arango  
Miembro del comité

Dra. Eva Selene Hernández Gress  
Codirectora

Dr. Manuel González Hernández  
Miembro del comité

JCSTM/MABC

Ciudad del Conocimiento  
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia  
Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,  
México. C.P. 42184  
Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 4000, 4001  
Fax 2109  
aai\_icbi@uaeh.edu.mx



[www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx)

# ÍNDICE

Capítulos	Página
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>4</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1 Estado del arte . . . . .	6
1.1.1 Diagramas de flujo de datos (Data Flow Diagrams - DFD). Descripción y aplicaciones. . . . .	7
1.1.2 Definición Integrada para el Modelado de Funciones (Integration Definition for Function Modeling - IDEF0) . . . . .	8
1.1.3 Diagramas de roles - actividad (Rol Activity Diagrams - RAD's) . . . . .	9
1.1.4 Cadenas de proceso controladas por eventos (Event-driven process chain - EPC) . . . . .	11
1.1.5 Arquitectura Integral de Sistemas de Información (Architecture of Integrated Information Systems ARIS) . . . . .	12
1.1.6 Notaciones del modelado de procesos de negocios (Bussiness Process Modeling Notation - BPMN) . . . . .	13
1.1.7 Lenguaje de Modelado Unificado (Unified Modelling Language - UML)	16
1.1.8 Modelado de procesos de negocios basados en modelos matemáticos o algorítmicos . . . . .	17
1.1.9 Lenguaje de Definición de Procesos (Process Definition Language - jPDL)	18
1.1.10 Aspectos a considerar al modelar procesos de negocios . . . . .	19
1.1.10.1 Políticas y reglas . . . . .	19
1.1.10.2 Variabilidad del modelado . . . . .	20
1.1.10.3 Minería de procesos . . . . .	21
1.1.10.4 Simulación de modelos de procesos de negocios . . . . .	22

1.1.11	Herramientas tecnológicas de minería de procesos . . . . .	23
1.1.11.1	ProM (Process Mining Workbench) . . . . .	24
1.1.11.2	DISCO (Process Mining) . . . . .	25
1.2	Objetivo General . . . . .	28
1.3	Objetivos Específicos . . . . .	28
1.4	Hipótesis . . . . .	28
1.5	Planteamiento del problema . . . . .	29
1.6	Organización de la tesis . . . . .	30
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS DE PROCESOS DE NEGOCIOS (BUSINESS PRO- CESS - BPs)</b>	<b>31</b>
2.1	Cadena de suministro (Supply Chain - SC) . . . . .	33
2.2	Planificación de Recursos Empresariales (Enterprise resource planning - ERP)	35
2.3	Cadena de Valor (Value Chain - VC) . . . . .	36
2.4	Proceso de negocio, modelado y mapeo . . . . .	40
2.5	Reingeniería de Procesos de Negocios (Business Process Reengineering - BPR)	41
<b>3</b>	<b>REDES DE PETRI (Petri Nets PN)</b>	<b>42</b>
3.1	Fundamentos de PN . . . . .	43
3.1.1	Redes de Petri y Redes Generalizadas . . . . .	43
3.1.2	Modelado de procesos de negocios utilizando Redes de Petri . . . . .	44
3.1.3	Aplicaciones . . . . .	45
3.2	Estructuras de Redes de Petri para Procesos de Negocio . . . . .	52
3.3	Herramientas de Modelado vs Redes de Petri . . . . .	54
<b>4</b>	<b>PROCESOS DE NEGOCIOS DE UN ORGANISMO OPERADOR (OO)</b>	<b>56</b>
4.1	Actividades primarias . . . . .	56
4.2	Actividades de apoyo . . . . .	59
<b>5</b>	<b>ALGORITMO PARA LA CREACIÓN DE REDES DE PETRI A PAR- TIR DE UN PROCESO DE NEGOCIO</b>	<b>62</b>
5.1	Caso de estudio . . . . .	62
5.1.1	Proceso 1 . . . . .	63
5.1.2	Proceso 2 . . . . .	63
5.1.2.1	Comprobación de funcionamiento de algoritmo (Aplicación)	72
5.2	Resultados . . . . .	81
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>83</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>84</b>
	<b>APÉNDICE 1. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD</b>	<b>88</b>

---

# ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Clasificación de técnicas de modelado de procesos [46] . . . . .	6
1.2	Elementos de un Diagrama de flujo de datos [26] . . . . .	8
1.3	Elementos de BPMN (1a. parte) [48] . . . . .	14
1.4	Elementos de BPMN (2a. parte) [48] . . . . .	15
2.1	Apartado 4 de la ISO 9001 [21] . . . . .	32
2.2	Impulsores de la Cadena de Valor [31] . . . . .	38
2.3	Impulsores de la Cadena de Valor (compradores - productores) [31] . . . . .	39
3.1	Connotaciones típicas de transiciones y lugares [29] . . . . .	47
5.1	Registro de tiempos de Actividad 1 - Proceso 1 y Tipo de distribución de probabilidad . . . . .	64
5.2	Registro de tiempos de Actividad 2 - Proceso 1 y Tipo de distribución . . . . .	65
5.3	Registro de tiempos de Actividad 3 - Proceso 1 y Tipo de distribución de probabilidad . . . . .	67
5.4	Registro de tiempos de Actividad 1 - Proceso 2 y Tipo de distribución de probabilidad . . . . .	68
5.5	Registro de tiempos de Actividad 2 - Proceso 2 y Tipo de distribución . . . . .	70
5.6	Registro de tiempos de actividad 3 - Proceso 2 y Tipo de distribución de probabilidad . . . . .	71
5.7	( <i>CAT – RPN</i> ) Catálogo de Procesos de Negocios . . . . .	73
5.8	( <i>TRN – RST</i> ) Registro de la simulación de tiempos de proceso . . . . .	73

# ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	IDEF0 Representación general de modelo [7]	9
1.2	Ejemplo de RAD [20]	10
1.3	Ejemplo de diagrama de Cadena de Proceso controlada por Eventos [1]	12
1.4	Elementos de los diagramas de actividades en UML [15]	17
1.5	Ejemplo de diagrama de proceso en jPDL [27]	19
1.6	Objetivo de la minería de procesos. Extraer conocimiento del registro de eventos [41].	25
2.1	Cadena de valor de una empresa fabricante de zapatos	37
2.2	Representación general de un proceso de negocio [51]	40
3.1	Estado inicial del proceso (el jugador se prepara para disparar)	48
3.2	El disparo de 3 puntos se ha realizado	49
3.3	El score aumenta 3 puntos, junto con un tiro libre	49
3.4	El jugador dispara tiro libre y lo anota	49
3.5	El score aumenta 1 puntos	50
3.6	Representación matricial de una red de Petri [47]	52
3.7	Selecciona la actividad a ejecutar [47]	53
3.8	Distribución. Ejecución de actividades en paralelos o concurrentes [47]	53
3.9	Atribución. Ejecución independiente de una actividad disparada por una actividad distinta [47]	54
3.10	Conjunción. Sincronización de actividades en paralelo [47]	54
5.1	Distribución de probabilidad. Actividad 1 - Proceso 1	65
5.2	Distribución de probabilidad. Actividad 2 - Proceso 1	66
5.3	Distribución de probabilidad. Actividad 3 - Proceso 1	68
5.4	Distribución de probabilidad. Actividad 1 - Proceso 2	69
5.5	Distribución de probabilidad. Actividad 2 - Proceso 2	71
5.6	Distribución de probabilidad. Actividad 3 - Proceso 2	72
5.7	Pantalla inicial	74
5.8	Menú Principal (Main menu)	75
5.9	Redacción de las actividades inherentes al proceso de negocio	75

5.10	Datos en BD de redacción del proceso de negocio ( <i>CAT_RPN</i> ) . . . . .	75
5.11	Representación del proceso de negocios con gráfico de red de Petri . . . . .	76
5.12	Simulación de comportamiento de actividades . . . . .	77
5.13	Fragmento de los datos generados por el proceso de simulación . . . . .	77
5.14	Representación matemática de la PN . . . . .	78
5.15	Representación del proceso de negocio modificado con PN (Proceso 2) . . . . .	79
5.16	Representación matemática del segundo proceso con PN . . . . .	80
5.17	Comparación entre procesos 1 y 2 . . . . .	81

# RESUMEN

Los procesos de negocios (BP) se definen como una serie de actividades relacionadas entre sí cuyo objetivo es ayudar a las organizaciones a alcanzar sus objetivos globales. Todas las organizaciones son a su vez un conjunto de procesos de negocios. Las actividades que componen un proceso de negocios son entidades que cuentan con características propias, por ejemplo: manual o automatizada, persona y lugar donde se ejecuta, información de entrada y salida, costo y tiempo de ejecución. La modelación de un BP consiste en organizar las actividades del proceso de tal modo que los objetivos de la organización sean alcanzados. En la presente investigación se analiza, a través de un caso de estudio, dos procesos de negocios diferentes que tienen el mismo objetivo, considerando como marco de referencia la característica “tiempo” de las actividades involucradas, para ello se registraron los tiempos de ejecución de cada actividad de 126 repeticiones de los procesos analizados, con esta información se obtiene la distribución de probabilidad de cada actividad. A efecto de simular el comportamiento de los procesos de negocio se desarrolló un algoritmo junto con una aplicación en la que se describen las actividades con su respectiva distribución de probabilidad, generando gráficamente una red de Petri, pudiéndose visualizar y comparar sus respectivos comportamientos.

**Palabras clave:** Procesos de negocio, modelado de procesos, redes de Petri, organismo operador de agua.

# ABSTRACT

Business processes (BP) are defined as a series of interrelated activities whose objective is to help organizations achieve their overall objectives. All organizations are in turn a set of business processes. The activities that make up a business process are entities that have their own characteristics, for example: manual or automated, person and place where it is executed, input and output information, cost and execution time. Modeling a BP consists of organizing the activities of the process in such a way that the organization's objectives are achieved. In this research, two different business processes that have the same objective are analyzed through a case study, considering as a frame of reference the "time" characteristic of the activities involved, for this the execution times of the processes were recorded. each activity of 126 repetitions of the analyzed processes, with this information the probability distribution of each activity is obtained. In order to simulate the behavior of business processes, an algorithm was developed along with an application in which the activities are described with their respective probability distribution, graphically generating a Petri net, making it possible to visualize and compare their respective behaviors.

**Keywords:** Business processes, process modeling, Petri nets, water administration agency.

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por darme la oportunidad de formarme como Doctor en Ciencias de la Ingeniería.

Esta tesis habría sido inalcanzable sin la beca que me otorgó CONAHCyT, por ello quiero expresar mi profundo agradecimiento a esta institución que ha respaldado a los investigadores mexicanos por más de 50 años. También agradezco la oportunidad de contribuir al proyecto: "Modelos Híbridos de Redes de Petri y Redes Neuronales para la Representación, Análisis y Optimización de Sistemas de Ingeniería" (Proyecto No. A1-S-43008).

Quisiera manifestar mi agradecimiento sincero a mis tutores y profesores, destacando especialmente a:

Dr. Joselito Medina Marín  
Dra. Eva Selene Hernández Gress  
Dr. Oscar Montaña Arango  
Dr. Manuel González Hernández

# DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi esposa e hijas.

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

El modelado de los procesos de negocio (Business Process Modeling) consiste en representar los aspectos relevantes de las actividades relacionadas a un proceso teniendo como objetivo: analizar, automatizar o simular el comportamiento de este. Donde la complejidad puede incrementarse, porque un proceso puede componerse de uno o varios subprocesos.

El concepto de procesos de negocios se acuñó aproximadamente en 1993 y es atribuido al economista Thomas Davenport, quien lo define como: una serie de actividades relacionadas entre si, cuyo objetivo es ayudar a las organizaciones a alcanzar sus objetivos globales. De igual forma, se dice que las organizaciones son un conjunto de procesos de negocios. Por ejemplo, los procesos de negocio de una tienda on line serían: registro y control de clientes, control de ventas, control de inventarios, control de envíos, etc., y de esa misma manera podríamos numerar las actividades de los procesos de negocios de cualquier institución tanto del sector público como del sector privado [2].

Las organizaciones del mismo sector comparten procesos de negocio similares, la particularidad que las distingue radica en la manera en que se ejecutan las actividades asociadas a dichos procesos, lo cual es probablemente el factor que les otorga una ventaja competitiva. Por ejemplo, el proceso de reinscripciones de una universidad; las actividades relacionadas son: 1. El estudiante consulta si tiene derecho a la reinscripción, en caso afirmativo selecciona grupos y materias a cursar en el próximo ciclo. El siguiente paso es verificar la disponibilidad de grupos seleccionados, 2. Realizar el pago correspondiente, 3. Registro de pago e inscripción del alumno a las materias y grupos seleccionados. Es un hecho, que de alguna u otra forma cualquier universidad tiene establecidas las actividades anteriores en su proceso de reinscripciones, pero, tal vez algunas lo hagan de forma tradicional (presencial) y otras lo realicen con ayuda de tecnologías de información, entonces, quienes lo realicen de esta segunda forma, obviamente, tendrán una ventaja competitiva.

En la mayoría de los casos, los procesos de negocios representan sistemas complejos, ya que intervienen varias entidades para su desarrollo. Si se habla del proceso de facturación de un automóvil, probablemente intervengan 6 o 7 entidades, pero en el proceso de ensamble

son muchas más. Existe una gran cantidad de técnicas de modelado de procesos de negocio que están dirigidas a representar los diferentes elementos que los componen, con el propósito de comprenderlos y analizarlos desde un punto de vista operacional [46], además, dicha representación y análisis sirve como base para la creación de sistemas de información, que apoyan la cadena de valor [39]. Sólo algunas técnicas de modelado pueden enfocarse hacia el análisis cuantitativo y de esa manera estar en condiciones de proponer una mejora u optimización.

## 1.1. Estado del arte

Para poner en contexto la creación y funcionamiento del algoritmo propuesto, es necesario tomar como referencia las herramientas para el modelado de procesos existentes, Kostas [46] propone una clasificación de acuerdo con el enfoque de cada una de ellas, en la Tabla 1.1, se muestra dicha clasificación.

Tabla 1.1: Clasificación de técnicas de modelado de procesos [46]

<b>Clasificación de técnicas de modelado de procesos</b>	
<b>Técnicas de modelado de proceso</b>	<b>Enfoque</b>
Diagramas de flujo	Modelado Esquemático
IDEF0. (Definición Integrada para el Modelado de Funciones. Lenguajes de modelado en el campo de la Ingeniería de sistemas)	Modelado Esquemático
RAD's (Diagramas de roles de actividad)	Modelado Esquemático
UML (Lenguaje unificado de modelado)	Modelado Esquemático Lenguaje de proceso de negocios
Petri Nets	Modelado Esquemático. Formal/modelado matemático
Modelado de procesos de negocios basados en modelos matemáticos o algorítmicos	Formal/modelado matemático
BPM	Formal/modelado matemático
jPDL(jBPM)	Modelado Esquemático Lenguaje de proceso de negocios

Las redes de Petri son un ejemplo de una técnica de modelado de procesos de negocios que combina representación visual con una representación matemática. Cuentan con un lenguaje gráfico apropiado para modelar procesos concurrentes, consta de dos tipos de nodos, llamados lugares y transiciones. Las redes de Petri han sido modificadas y extendidas por

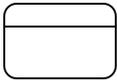
varios investigadores para permitir capacidades de modelado más potentes. Algunas de sus variaciones incluyen redes de Petri cronometradas, redes de Petri estocásticas, redes de Petri coloreadas y redes de Petri jerárquicas.

En los años noventa, varias industrias desarrollaron diferentes sistemas de gestión de flujo de trabajo creando diferentes herramientas para modelar procesos de negocios, la mayoría de estas tienen una sintaxis gráfica. Aunque parece fácil crear dichas herramientas, resulta ser un trabajo complicado, debido a la semántica y dinámica de los procesos, algunos ejemplos son: Diagramas de flujo de datos, Cadenas de proceso controladas por eventos, Architecture of Integrated Information Systems (ARIS), Business Process Execution Language (BPEL), Business Process Model and Notation (BPMN), Unified Modeling Language (UML), algunas de sus características son las siguientes:

### **1.1.1. Diagramas de flujo de datos (Data Flow Diagrams - DFD). Descripción y aplicaciones.**

Los DFD es una herramienta visual utilizada en la ingeniería de software y la gestión de proyectos para representar el flujo de datos dentro de un sistema o proceso. Son útiles para comprender y documentar cómo interactúan los diferentes componentes de un sistema, incluidos los procesos, las entidades externas, las fuentes de datos y las salidas de datos, los símbolos utilizados en este tipo de diagramas se presentan en la Tabla 1.2, [26].

Tabla 1.2: Elementos de un Diagrama de flujo de datos [26]

Diagrama de flujo de datos		
Símbolo	Nombre	Descripción
	Entidad externa	Se representa como un rectángulo con bordes redondeados. También conocidas como actores, fuentes o pozos, y terminadores, las entidades externas producen y consumen datos que fluyen entre la entidad y el sistema cuyo diagrama se está creando.
	Proceso	Un proceso se representa generalmente con un rectángulo con una línea horizontal en la parte superior, y su función es transformar los datos de entrada en datos de salida.
	Almacén de datos (Base de datos)	Se representa como un rectángulo con una línea vertical del lado izquierdo. No genera ninguna operación, simplemente conserva los datos para un acceso futuro.
	Flujo de Datos	Las flechas representan los flujos de datos que se mueven entre los procesos, las entidades externas y las bases de datos.

### 1.1.2. Definición Integrada para el Modelado de Funciones (Integration Definition for Function Modeling - IDEF0)

IDEF0; es un estándar que fue establecido por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en 1981 con el propósito de proporcionar una metodología estándar y ampliamente aceptada para crear modelos coherentes y bien definidos que representen las relaciones entre actividades, funciones y tareas. Se considera una de las herramientas más efectivas para el modelado funcional. IDEF0 consta de dos componentes principales: una representación gráfica que define la sintaxis y semántica de un lenguaje de modelado, y una metodología completa para el desarrollo de modelos.

La base de este estándar radica en analizar la interacción entre los procesos y subprocesos subyacentes, identificar las relaciones entre las actividades y proporcionar una visión global de todos los procesos dentro de un sistema. IDEF0 se utiliza para diseñar modelos que re-

presentan las decisiones, acciones y actividades de una organización o sistema. El modelado funcional IDEF0 se basa en una descomposición jerárquica de funciones que consta de cinco elementos principales. En estos modelos, las actividades o procesos se representan mediante rectángulos, y se utilizan flechas denominadas ICOM para indicar:

- I: Entrada (ubicada a la izquierda de la actividad), que representa las entidades utilizadas en una actividad, como información o materia prima.
- C: Control (ubicado arriba de la actividad), que controla o condiciona las actividades, por ejemplo el nivel de calidad requerido.
- O: Salida (ubicada a la derecha de la actividad), representa el resultado de la actividad, como productos o servicios.
- M: Mecanismo (ubicado en la parte inferior de la actividad), que incluye los elementos propios de ejecución, por ejemplo los responsables de que se lleve a cabo la actividad.

En resumen, IDEF0 se compone de un conjunto de actividades que requieren ciertos insumos, utilizan mecanismos y está sujeto a ciertos controles transformar las entradas en salidas [7]. En la figura 1.1 se muestra la forma general del modelado utilizando IDEF0.

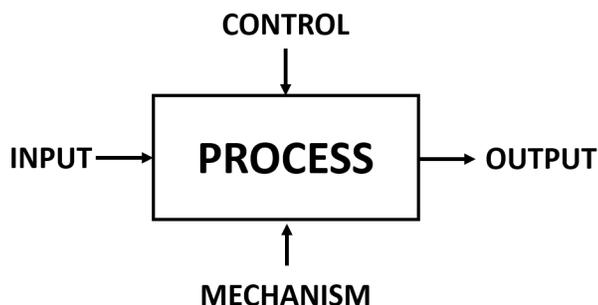


Figura 1.1: IDEF0 Representación general de modelo [7]

### 1.1.3. Diagramas de roles - actividad (Rol Activity Diagrams - RAD's)

Los diagramas de roles - actividad se basan en tres conceptos fundamentales [20]:

1. Los roles desempeñados por personas, equipos, departamentos u otras entidades en el proceso.

2. Las actividades realizadas por los participantes durante el proceso, que pueden incluir acciones como hacer, verificar, informar o vender, entre otras.
3. Las interacciones que involucran a dos o más roles, como el movimiento de materiales o información, la asignación o delegación de trabajo, la autorización de decisiones o acuerdos, o la comunicación del estado.

Para ilustrar este concepto, en la figura 1.2 se proporciona un diagrama rol-actividad que muestra el proceso de desarrollo de software solicitado por un cliente .

Los roles pueden incluir individuos, posiciones, equipos, departamentos, empresas u organizaciones, como reguladores o sindicatos, o incluso una categoría de partes interesadas, como clientes o residentes. Las actividades realizadas generan cambios, mientras que las interacciones abarcan diversas acciones que implican la colaboración de múltiples roles [20].

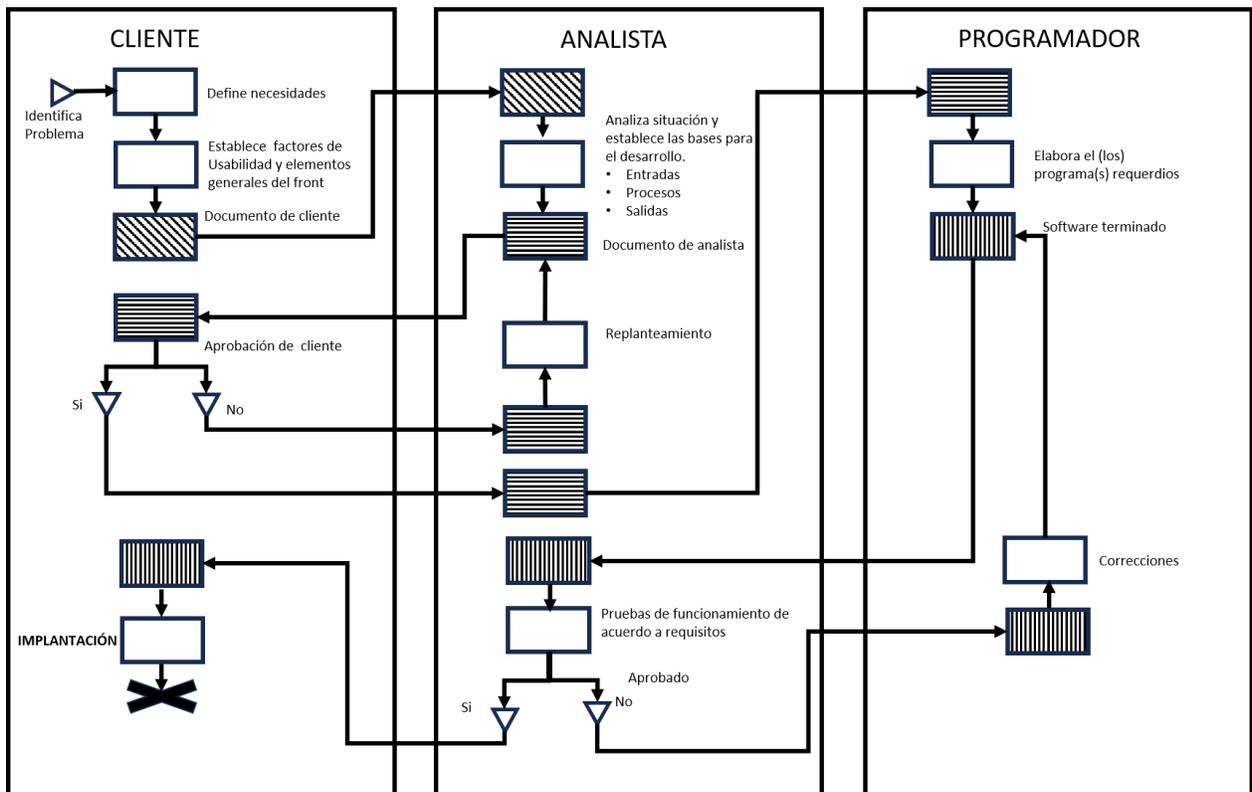


Figura 1.2: Ejemplo de RAD [20]

#### 1.1.4. Cadenas de proceso controladas por eventos (Event-driven process chain - EPC)

Las empresas dependen en gran medida de la capacidad de obtener resultados de procesos confiables que estén alineados con el plan general de la organización, especialmente en lo que respecta a la calidad, el rendimiento y el tiempo. Para mantenerse competitivas en sus respectivos sectores, muchas empresas confían en sistemas de fabricación inteligentes o sistemas automatizados que respaldan la oferta de servicios.

Los sistemas inteligentes o automatizados son actividades que forman parte de procesos empresariales y que se ejecutan como respuesta a un cambio de estado en algún elemento del sistema, ya sea iniciado por un usuario o desencadenado por un sensor. Algunos ejemplos de estos sistemas incluyen:

1. Sistemas de visión que utilizan cámaras de video o imágenes fotoeléctricas conectadas a software para realizar tareas como inspección de calidad o control de procesos.
2. Reconocimiento óptico de caracteres (OCR), que permite la digitalización y conversión de texto impreso o manuscrito en datos electrónicos.
3. Reconocimiento de voz humana, que se emplea en aplicaciones de asistencia por voz, como sistemas de navegación o servicios de voz en línea.
4. Sistemas de detección de chips de radiofrecuencia (RFID) o códigos de barras para rastrear y gestionar inventarios de manera eficiente.

Muchas empresas han optado por utilizar metodologías como EPC para diseñar y poner en práctica sus procesos de negocio. Un ejemplo de una plataforma que ejecuta procesos empresariales y de almacenamiento de información cuando se captura una transacción es SAP. SAP es conocido por su amplia gama de módulos que abarcan diversas funciones empresariales, y cuando se realizan transacciones en estos módulos, se activan procesos automatizados que garantizan una gestión eficiente de la información y los recursos. [5]. Las casas de apuestas utilizan EPC en sus procesos de apuestas de *deportes en vivo* debido a que los momios cambian automáticamente cuando alguno de los equipos contendientes toma ventaja en el juego [23].

EPC es un concepto relacionado con la automatización y la gestión de procesos en el ámbito de las tecnologías de información, siendo una metodología de diseño y ejecución de procesos donde las actividades se desencadenan y controlan en respuesta a eventos específicos en lugar de seguir un flujo de trabajo predefinido y lineal, en la figura 1.3 se muestra un ejemplo de un diagrama EPC. . Los principales elementos de esta metodología son [28];

- **Eventos:** Sucesos o condiciones que ocurren en un sistema y que pueden desencadenar la ejecución de una o varias actividades. Estos eventos pueden ser internos o externos al sistema y pueden ser desde acciones de usuarios, cambios en el estado de datos, notificaciones de sistemas externos o cambios de fechas, entre otros.
- **Proceso:** Un proceso en este contexto se refiere a una serie de actividades relacionadas que deben realizarse para lograr un objetivo específico. Estas actividades pueden estar interconectadas y pueden variar en complejidad.
- **Controlado por eventos:** Un proceso controlado por eventos se adapta y responde dinámicamente a los eventos que ocurren en el entorno. Cuando se produce un evento relevante, se desencadena una acción específica en el proceso. Esto permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad en la ejecución de tareas y procesos.
- **Automatización:** La tecnología de automatización se utiliza para detectar eventos, tomar decisiones basadas en reglas predefinidas y ejecutar acciones correspondientes de manera automática, reduciendo la intervención manual y mejorando la eficiencia[28].

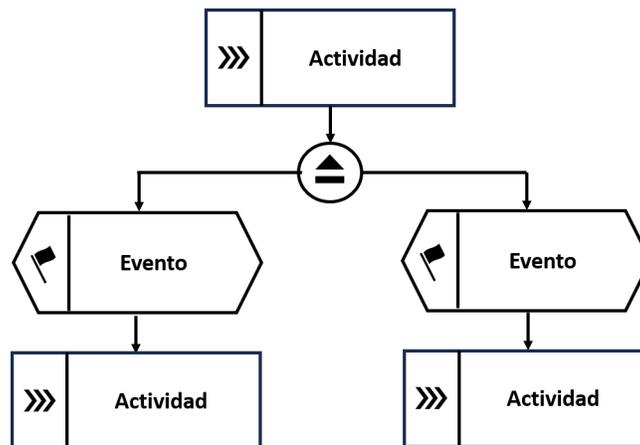


Figura 1.3: Ejemplo de diagrama de Cadena de Proceso controlada por Eventos [1]

### 1.1.5. Arquitectura Integral de Sistemas de Información (Architecture of Integrated Information Systems ARIS)

La empresa alemana Software AG desarrolló una metodología y un conjunto de herramientas para el modelado y la gestión de procesos empresariales. La plataforma ARIS permite a las organizaciones [35]:

- Modelar procesos empresariales: ARIS proporciona herramientas para representar gráficamente los procesos empresariales para comprender, documentar y analizar cómo funcionan las actividades dentro de una organización.
- Gestionar la arquitectura empresarial: Permite el diseño y la documentación de la estructura organizativa, la infraestructura de TI, los flujos de datos y la estrategia empresarial de una organización.
- Gestionar el cambio empresarial: Facilita la planificación y la implementación de cambios organizativos y tecnológicos al proporcionar una visión de cómo se ven afectados los procesos y sistemas existentes.
- Cumplir con normativas y estándares: Ayuda a las organizaciones a cumplir con regulaciones y estándares específicos al proporcionar la documentación de los procesos y sistemas.
- Optimizar la toma de decisiones: Ayuda a los líderes a tomar decisiones con información detallada sobre los procesos de negocio

### **1.1.6. Notaciones del modelado de procesos de negocios (Business Process Modeling Notation - BPMN)**

La notación y modelado de procesos de negocios (BPMN) establece un estándar para la creación de modelos, permitiendo la descripción de procesos de negocio complejos que pueden ser convertidos en lenguajes de ejecución del proceso. BPMN se utiliza para la definición de diagramas de proceso, colaboración y ejecución. Los elementos gráficos se dividen en dos grupos, siendo el primero un conjunto de elementos de modelado básico, mientras que el segundo grupo comprende elementos de modelado avanzado [11]. Para los propósitos de este trabajo en la tablas 1.3 y 1.4, se presentan las categorías de elementos de modelado básico..

Tabla 1.3: Elementos de BPMN (1a. parte) [48]

BPMN		
Símbolo	Nombre	Descripción
	Evento	<p>Un Evento se representa mediante un círculo y corresponde a un suceso que ocurre en el transcurso de un proceso de negocios. Los eventos se muestran como círculos con centros abiertos para permitir la inclusión de marcadores internos que ayuden a distinguir entre distintos desencadenantes o resultados. Existen tres categorías principales de Eventos, dependiendo de cuándo impactan en el flujo del proceso: Inicio, Intermedio y Fin, tal como se ilustra en las figuras a la izquierda, respectivamente.</p>
	Actividad	<p>Una actividad está representada por un rectángulo de esquinas redondeadas. Los tipos de Actividades son: Tareas y Subprocesos. El Subproceso se distingue por un pequeño signo más en la parte inferior central de la forma.</p>
	Puerta de enlace	<p>Una puerta de enlace se representa con la icónica forma de un diamante y se utiliza para gestionar tanto la separación como la unión del flujo de secuencia en un proceso. La puerta de enlace se encarga de tomar decisiones convencionales y manejar aspectos como la bifurcación, fusión y unión de caminos en el proceso.</p>

Tabla 1.4: Elementos de BPMN (2a. parte) [48]

BPMN		
Símbolo	Nombre	Descripción
	Flujo de secuencia	El flujo de secuencia está representado por una línea continua con una punta de flecha sólida y se utiliza para mostrar el orden en que se realizarán las actividades realizado en un proceso.
	Flujo de mensaje	El flujo de mensajes está representado por una línea discontinua con una punta de flecha abierta y se utiliza para mostrar el flujo de mensajes entre dos participantes del proceso (entidades comerciales o roles comerciales) que los envían y reciben.
	Asociación	Una Asociación está representada por una línea de puntos con una punta de flecha, se utiliza para asociar datos, texto y otros artefactos con objetos de flujo.
	Pool	Un Pool representa un participante en un Proceso. También actúa como un contenedor gráfico para dividir un conjunto de actividades de otros grupos, generalmente en el contexto de B2B. situaciones.
	Carriles	Un carril es una subpartición dentro de un pool y se extenderá por toda la longitud, ya sea vertical u horizontalmente. Los carriles se utilizan para organizar y categorizar actividades.
	Objeto de datos	Los objetos de datos son un mecanismo para mostrar cómo las actividades requieren o producen datos.
	Agrupación	Una agrupación está representado por un rectángulo de esquina redondeada dibujado con una línea discontinua. La agrupación se puede utilizar con fines de documentación o análisis, pero no afecta el flujo de secuencia.
	Anotación	Las anotaciones son elementos para que un modelador proporcione información de texto adicional para el lector de un diagrama BPMN.

En contraste, para el análisis de procesos de negocio se propone el modelo de análisis con redes de Petri siendo este esquema más práctico. Las redes de Petri son un modelo formal con herramientas de apoyo disponibles para analizar y verificar el sistema con el fin de aumentar la confiabilidad y detectar errores durante la fase de diseño. Sin embargo, las redes de Petri clásicas tienen limitaciones ya que la descripción de varios tokens dentro de la modelación de los Procesos de Negocios se hace indistinguibles. Para subsanar tal limitación se recomienda utilizar redes de Petri Coloreadas (CPN), estas proporcionan la facilidad de integrar diferentes tipos de datos y su manipulación compleja vincular con el factor tiempo y la posible descripción jerárquica para que el modelo grande pueda escribirse con varios submodelos y los submodelos posiblemente sean reutilizados [36].

### **1.1.7. Lenguaje de Modelado Unificado (Unified Modelling Language - UML)**

Según la OMG (Object Management Group) una de las herramientas más conocidas para el modelado de procesos es UML (Unified Modelling Language). Es una herramienta que utiliza una interfaz gráfica con la que se puede especificar, plasmar y documentar los diferentes elementos que forman parte de un sistema [15].

La parte dinámica del sistema se puede especificar a través de varios diagramas de comportamiento, tales como: diagramas de actividad, diagramas de secuencia y diagramas de máquinas de estado. Los diagramas de actividades describen la funcionalidad de los procesos de negocios, describiendo el flujo de trabajo de las actividades involucradas se compone de elementos de modelo identificados como nodos de acción (actividad/acción, llamada a actividad externa o subproceso), nodos de control, nodos objeto, flujos de control [4], en la figura 1.4 se muestran los elementos de los diagramas de actividades en UML

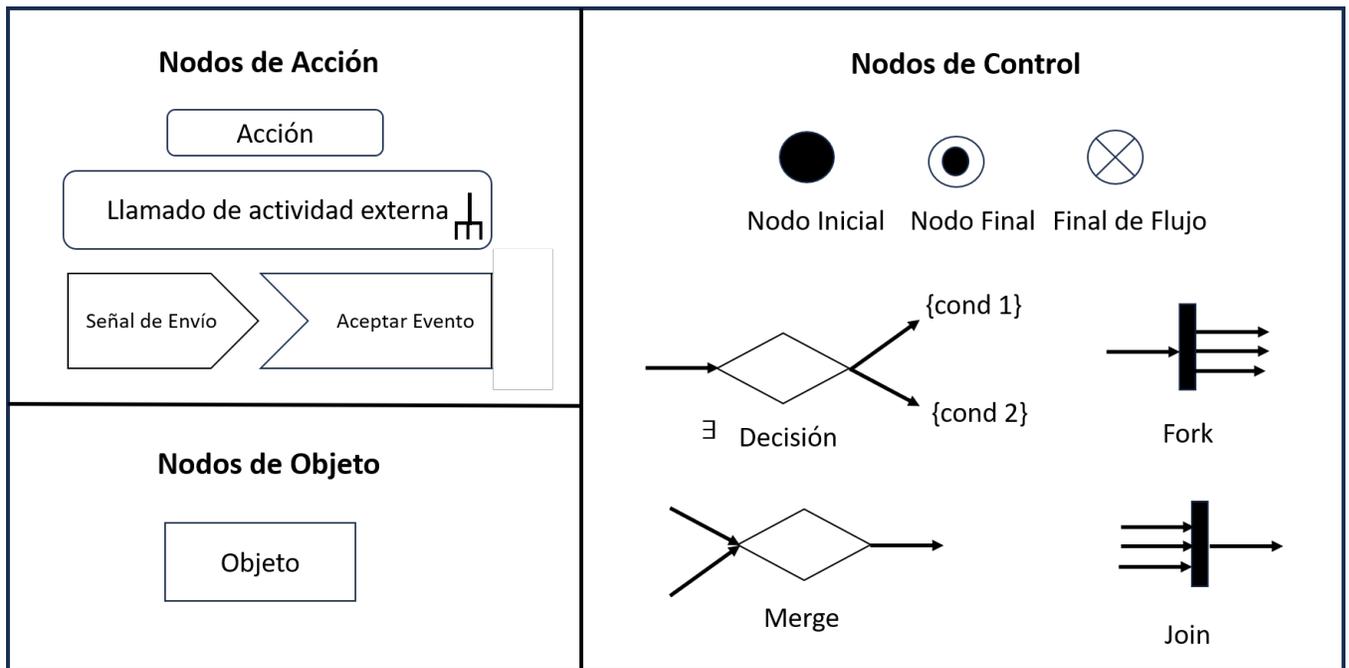


Figura 1.4: Elementos de los diagramas de actividades en UML [15]

### 1.1.8. Modelado de procesos de negocios basados en modelos matemáticos o algorítmicos

Simular procesos organizacionales es complicado debido a la incertidumbre y la complejidad inherentes. Las herramientas actuales a menudo no capturan eficientemente el comportamiento a lo largo del ciclo de vida de estos procesos. Para abordar esta complejidad, es posible construir y gestionar modelos de simulación a través de un sistema que se prueba en escenarios piloto.

Una manera efectiva de simular procesos de negocios es mediante modelos adaptables. Por ejemplo, diseñar modelos capaces de ajustar automáticamente tiempos de ejecución de actividades según eventos o condiciones cambiantes. Estos modelos podrían adaptarse dinámicamente a cambios en la demanda, recursos disponibles y otros factores relevantes.

El uso de la notación BPMN para diseñar estos modelos ofrece una representación visual y comprensible de la lógica del proceso, facilitando así la comprensión y adaptación dinámica de los procesos [10].

En el presente documento se plantea un algoritmo de modelado de procesos basado en la simulación.

### 1.1.9. Lenguaje de Definición de Procesos (Process Definition Language - jPDL)

El desarrollo de software ha experimentado notables cambios en sus metodologías y técnicas a lo largo del tiempo. Sin embargo, algunos problemas persistentes se mantienen desde mediados y finales del siglo XX. Uno de ellos está ligado a la ingeniería de requisitos, una fase que ha mostrado poca evolución. Entre las dificultades, se destaca que los analistas no son expertos en el proceso de negocios que están abordando, además de la ambigüedad inherente al lenguaje natural.

Para afrontar esta situación, la Business Process Management Initiative (BPMI), un grupo dentro de OMG (Object Management Group), propuso el Business Process Modeling (BPM) como una solución. Esta disciplina busca involucrar a expertos del dominio en el proceso de ingeniería de requisitos a través de una notación de modelado que actúa como un puente entre los expertos en el dominio y los expertos en informática. En esta propuesta, se introdujo la notación BPMN (Business Process Model and Notation) como estándar para BPM. Sin embargo, la estandarización de BPMN ha llevado a un aumento en su tamaño y complejidad, lo que demanda capacitación para su comprensión y uso, incluso para no expertos técnicos.

BPMN, es la notación estándar para el modelado de procesos de negocio. Sus principales objetivos incluyen brindar una notación comprensible a los expertos del dominio y reducir la diversidad de notaciones y herramientas de modelado existentes.

Dentro de este contexto, surge jPDL (Java Process Definition Language) como parte de jBPM, una suite BPM en Java. jPDL simplifica BPMN reduciendo las entidades disponibles para la definición del proceso y utilizando códigos de colores para modificar la representación gráfica de las entidades. Esto ha logrado disminuir la complejidad y elevar el nivel de abstracción para el usuario [27].

La Fig. 1.5 muestra un diagrama de proceso construido usando jPDL, donde se puede apreciar el código de colores como la principal diferencia de este tipo de diagramas.

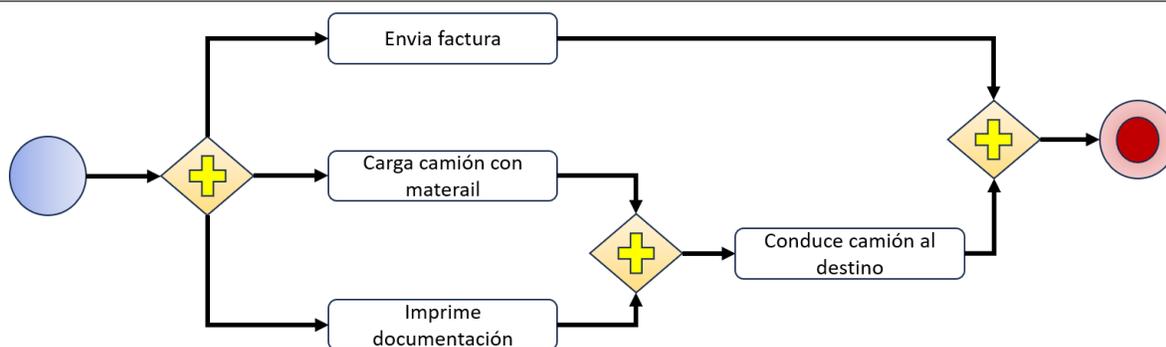


Figura 1.5: Ejemplo de diagrama de proceso en jPDL [27]

### 1.1.10. Aspectos a considerar al modelar procesos de negocios

El modelado de procesos es una herramienta para identificar ineficiencias, identificar oportunidades de mejora, estandarizar prácticas, documentar procedimientos y comunicar de manera efectiva cómo funcionan los procesos en una organización. También puede servir como base para la automatización de procesos a través de sistemas de gestión de procesos empresariales o flujos de trabajo, los factores a considerar en el modelado de procesos son los siguientes:

#### 1.1.10.1. Políticas y reglas

Para la modelación de procesos es necesario establecer las reglas o políticas del proceso de negocio. Una manera sencilla de hacerlo es establecer el concepto Evento-Condición-Acción (ECA) para representar las principales reglas que se encuentran en el flujo de trabajo. Las reglas de ECA mencionadas se asignan estrictamente a partir de las redes CPN completas [36]. Es importante establecer los siguientes conceptos:

- **Regla comercial.** Una regla comercial es una declaración que define o restringe algunos aspectos del negocio. Podría ser una política acuerdo o definición relativa a los criterios que aplican las organizaciones con los clientes, socios o empleados.
- **Análisis de procesos de negocio.** Es la base del negocio de reingeniería, reorganización y optimización de procesos. Con el análisis cuantitativo del desempeño de procesos negocios es posible identificar cuellos de botella, costos excesivos, lastres en el diseño de actividades, etc. Las redes de Petri estocásticas generalizadas aplicadas a la fase de análisis de procesos de negocio [12].

Ciertamente, para que cualquier individuo comprenda la esencia de las actividades de un proceso de negocio, se requieren dos condiciones fundamentales: en primer lugar, la persona debe poseer conocimientos técnicos relacionados con el negocio; y en segundo lugar, es necesario que las actividades estén descritas en lenguaje natural. Sin embargo, el lenguaje natural puede ser altamente ambiguo, lo que plantea un desafío significativo en la creación de aplicaciones informáticas capaces de interpretarlo de manera completa. A continuación, se detallan una serie de desafíos que deben superarse para analizar las descripciones de procesos en lenguaje natural [32]:

- Semántica frente a sintaxis. Se pueden utilizar diferentes estructuras sintácticas, manteniendo el mismo sentido. Por tanto, esta categoría distingue tres cuestiones clave. Activo - Voz pasiva Redacción / orden de las palabras Condiciones implícitas
- Atomicidad. La atomicidad describe la cuestión de cómo se transforma una oración a las actividades. Las oraciones constan de varias cláusulas relativas, que puede contener información relevante para la actividad o una actividad completamente nueva.
- Relevancia. Dentro de la descripción del proceso se pueden encontrar frases que son relevantes para el proceso, pero no agregan información útil al modelo final. Además, las oraciones a menudo son ejemplos, para ayudar al humano comprender el proceso. El problema es cuando el proceso se describe en un nivel meta, entonces se enfrenta a los siguientes problemas: Importancia relativa de la cláusula.
- Referenciar. Un problema principal de las referencias es la resolución de elementos anteriores, que, por lo general, se refieren a otras oraciones, a saber, crear enlaces textuales de esa manera afectando el flujo del modelo de proceso. Finalmente, un gran desafío es cómo determinar cuándo las ramas de un proceso deben volver a unirse.

Los sistemas de información son una parte esencial para apoyar el funcionamiento de los procesos de negocios, desafortunadamente la arquitectura de software tradicional solo es aplicable a procesos comerciales relativamente inmutables y tienen las siguientes limitaciones: primero, la lógica del proceso está fija y oculta en la propia aplicación, lo que a su vez dificulta la extracción de la lógica del proceso; y si el proceso de negocio requiriera un cambio, se tendría que volver a analizar, rediseñar y reiniciar el software; segundo, es extremadamente difícil construir la trazabilidad del proceso entre los requisitos comerciales y el sistema, es decir, no hay una asociación clara para descifrar la ruta entre actividades del procesos de negocio y los eventos que desencadenan el cambio de estado [24].

#### 1.1.10.2. Variabilidad del modelado

Es común que las organizaciones mantengan múltiples variantes de un determinado proceso empresarial, como múltiples procesos de venta para diferentes productos o múltiples

procesos de contabilidad para diferentes países. Los lenguajes de modelado de procesos de negocio convencionales no admiten explícitamente la representación de tales familias de variantes de procesos. Esta brecha desencadenó importantes esfuerzos de investigación durante la última década, lo que condujo a una variedad de enfoques para el modelado de variabilidad de procesos de negocios. En general, cada uno de estos enfoques extiende un lenguaje de modelado de procesos convencional con construcciones para capturar modelos de procesos configurable. Un modelo de proceso configurable representa una familia de variantes de proceso de manera que se puede derivar un modelo de cada variante agregando o eliminando fragmentos según las opciones de personalización o según un modelo de dominio. [26]

### 1.1.10.3. Minería de procesos

La administración de procesos de negocios es una actividad que a lo largo del tiempo ha ido incorporando diferentes conceptos para su fortalecimiento. Modelado de procesos, minería de procesos, representación de procesos, a continuación, se da una descripción de estos elementos.

Los procesos de negocios de alguna manera se deben plantear en un contexto que puedan ser entendidos por las personas, si la definición de proceso es: “. . . una serie de actividades relacionadas . . .”, entonces un listado de las actividades podría describir el proceso y si además dicha lista se muestra como un flujo de trabajo en el que se indique el orden de ejecución de las mismas, entonces el proceso puede ser mas entendible, dejando de lado lo abstracción. En consecuencia, entendemos que un modelo es una representación y la modelación es la creación de un modelo. Este concepto es significativamente importante ya que un claro entendimiento del proceso es el punto inicial para la creación de sistemas de TI, para estudios de simulación o incluso para mejorar o implementar procesos para una organización por ejemplo para el control de ventas, cobranza, almacenamiento, etc. Estos temas han originado el interés del estudio de BPM.

El modelado de procesos difiere del diseño de procesos en que éste último deberá considerar el esquema organizacional en la asignación de tareas, la tecnología utilizada e incluso el presupuesto que deberá asignarse para su operación. Por ello es importar aclarar que diseñar no es [33].

El concepto de minería de procesos está relacionado con la minería de datos para descubrir comportamientos de flujos de trabajo, validarlos y mejorarlos. Al combinar la minería de datos y el análisis de los procesos, las organizaciones pueden extraer información del registro de sus sistemas de información y entender su desempeño, descubriendo áreas de mejora. La minería utiliza un enfoque basado en datos para la optimización de procesos, lo que permite a los líderes tomar decisiones sin ambigüedades, en el entendido que la información es actual

fidedigna y confiable.

Dentro de las funciones de la minería de procesos se encuentra la de descubrir modelos. Esto implica la implementación de ciertos algoritmos que conviertan un registro de eventos en un modelo que sea capaz de representar el comportamiento inscrito en el registro. Sin embargo, en el presente trabajo no se intenta crear o descubrir un proceso nuevo, dado que el enfoque es que a partir de un proceso descrito en lenguaje natural y con ciertas reglas de redacción se obtenga un modelo gráfico que permita ser simular el comportamiento de cada una de sus actividades.

La minería de procesos dispone de varios algoritmos de descubrimiento, entre los que se encuentra el algoritmo Alpha, el cual produce una red de Petri a partir de un de un registro de eventos que, en teoría, debe ser capaz de representar el registro en cuestión. Este es uno de los primeros algoritmos que fue capaz de contemplar en su modelo la concurrencia de actividades. Este algoritmo Alpha procesa el registro siguiendo una serie de normas a partir de las cuales busca una serie de patrones de relación entre actividades. El algoritmo planteado en el presente trabajo, en términos generales, lee los registros de una base de datos, lee si es una plaza o una transición y las conexiones existentes, para posteriormente dibujar en un plano una red de Petri, más adelante se describe y explica su funcionamiento [40].

Existen oportunidades en el campo de la minería de procesos:

1. Encontrar el patrón de comportamiento del proceso basado en estructuras organizacionales,
2. Diseño de procesos para facilitar el uso ágil de datos
3. Utilizar la minería de procesos para crear el balance entre la automatización y la participación humana en los procesos de negocios
4. Investigar sobre modelos de referencia para la creación de valor en las mejores prácticas [8].

#### **1.1.10.4. Simulación de modelos de procesos de negocios**

La simulación es una técnica popular para analizar procesos comerciales, proporciona un entorno estructurado en el que se pueden comprender y mejorar los procesos comerciales. Es muy útil para ayudar en la toma de decisiones al proporcionar una herramienta que permite analizar y comprender el comportamiento actual de un sistema. También es capaz de ayudar a predecir el desempeño del sistema en una serie de escenarios determinados por el tomador de decisiones. La simulación de procesos facilita su diagnóstico mediante la simulación de

casos del mundo real ya que es posible realizar análisis hipotéticos. Es una técnica muy flexible porque se puede utilizar para obtener una evaluación del rendimiento actual del proceso y/o formular hipótesis sobre un posible rediseño del proceso, lo cual es una ventaja muy importante [46].

Los paquetes de software de simulación de modernos permiten tanto la visualización como el análisis del rendimiento de un proceso y se utilizan con frecuencia para evaluar el comportamiento de diseños alternos. La visualización a través la interfaz gráfica de usuario es importante para hacer que el proceso de simulación sea más fácil de usar.

La principal ventaja del análisis basado en simulación es que puede predecir el rendimiento del proceso utilizando una serie de medidas cuantitativas como el tiempo de espera, la utilización de recursos y el costo. Además proporciona un medio para evaluar la ejecución del proceso empresarial para determinar un comportamiento ineficiente, por lo tanto, los datos de ejecución de procesos comerciales pueden alimentar herramientas de simulación que explotan modelos matemáticos con el fin de optimizar y rediseñar los procesos comerciales. Los modelos de procesos dinámicos pueden permitir el análisis de escenarios alternativos a través de la simulación utilizando métricas cuantitativas del proceso, tales como: el costo, el tiempo de ciclo, la capacidad de servicio y la utilización de recursos. Estas métricas forman la base para evaluar alternativas y seleccionar el escenario más prometedor para la implementación. Sin embargo, los modelos analíticos (en su mayoría matemáticos), no han recibido mucha atención debido a su complejidad a pesar de su capacidad para desempeñar un papel más importante en la medición del rendimiento y la realización de experimentos [46].

Aunque los sistemas complejos son, por su naturaleza, difíciles de modelar y/o construir, el problema puede disminuir su complejidad si los requisitos del usuario se capturan de manera rigurosa y completa, con ello es posible simular los procesos bajo diferentes escenarios.

Un escenario es una secuencia específica de acciones que ilustra comportamientos, partiendo de una configuración de sistema bien definida y en respuesta a estímulos externos. Las redes de Petri se utilizan para formalizar el comportamiento de algún componente, sistema o aplicación, es decir, aquellos que tienen un comportamiento complejo. Dado que las redes de Petri son un modelo formal, no conllevan ninguna ambigüedad y, por lo tanto, pueden validarse [34].

### **1.1.11. Herramientas tecnológicas de minería de procesos**

En este documento se mencionan dos herramientas de software que sirven como marco de referencia para la explicación de la propuesta del presente documento ; ProM (Process

Mining Workbench) y DISCO (DISCover su proceso. Comparación de software de Process Mining)

#### 1.1.11.1. ProM (Process Mining Workbench)

Es un marco de código abierto utilizado en el campo de la minería de procesos para analizar y visualizar datos de procesos comerciales. Sus características son [45][22][42]:

- **Extensibilidad y Modularidad:** ProM está diseñado de forma modular, lo que significa que es posible agregar y combinar diferentes complementos para adaptarlo a necesidades específicas.
- **Variedad de algoritmos de minería de procesos:** Proporciona una amplia gama de algoritmos para el descubrimiento y análisis de procesos, incluido el descubrimiento de modelos, la verificación de conformidad, el descubrimiento de reglas, entre otros, vea figura 1.6.
- **Visualización de procesos:** Ofrece herramientas de visualización para representar gráficamente los procesos de negocio, lo que ayuda a comprender mejor el flujo de actividades y eventos.
- **Descubrimiento de modelos:** Puede ayudar a crear modelos de procesos a partir de registros de eventos. Esto incluye la generación de diagramas de flujo y modelos de redes de Petri, entre otros.
- **Análisis de rendimiento:** Algunas versiones de ProM incluyen herramientas para evaluar el rendimiento del proceso, como la detección de cuellos de botella y la identificación de áreas de mejora.

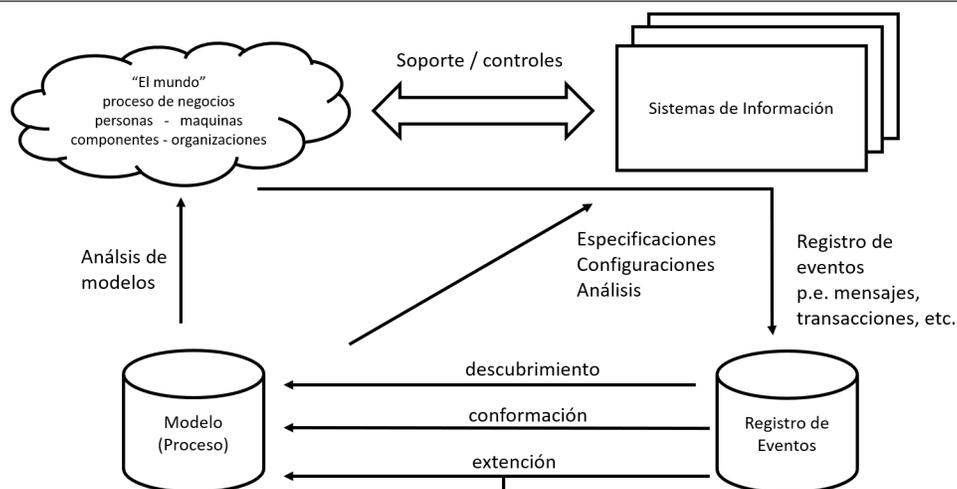


Figura 1.6: Objetivo de la minería de procesos. Extraer conocimiento del registro de eventos [41].

Sin embargo, como cualquier herramienta o software, también tiene algunas características que algunos usuarios podrían considerar como inconvenientes o limitaciones. Por ejemplo [44] [17]:

- **Curva de aprendizaje:** Puede tener una curva de aprendizaje pronunciada para usuarios que no están familiarizados con la minería de procesos o el software en sí. Algunas funciones avanzadas pueden requerir una comprensión sólida de los conceptos subyacentes.
- **Compatibilidad de formatos de datos:** Puede ser un poco exigente en cuanto a qué formatos de datos puede manejar. Es posible que los usuarios necesiten preparar sus datos de una manera específica antes de poder usarlos en la herramienta.
- **El generador de registros de procesos:** Genera aleatoriamente modelos basados en criterios proporcionados por el usuario y también puede proporcionar un registro de eventos simulado relacionado, pero no proporciona una manera de modificar el modelo generado o cambiar las opciones de simulación.

#### 1.1.11.2. DISCO (Process Mining)

Es un software de minería de procesos que se utiliza para analizar y visualizar datos de procesos comerciales. Con las siguientes características [18][14]:

- **Interfaz de usuario intuitiva:** DISCO tiene una interfaz de usuario amigable y fácil de usar, lo que facilita la carga de datos, la realización de análisis y la visualización de resultados.
- **Análisis de procesos:** Ofrece una variedad de herramientas para analizar procesos comerciales, incluida la visualización del flujo de trabajo, la identificación de patrones y la detección de desviaciones.
- **Descubrimiento de modelos:** Puede generar modelos de procesos a partir de datos de eventos, lo que le permite comprender cómo se desarrollan las actividades en un proceso.
- **Análisis de conformidad:** Puede comparar registros de eventos con un modelo de proceso previamente definido para identificar discrepancias y desviaciones.
- **Visualización de procesos:** Ofrece diferentes tipos de visualización, como diagramas de flujo, diagramas de Gantt y mapas de procesos, para ayudar a comprender y comunicar el flujo de actividades.
- **Análisis de rendimiento:** Puede ayudar a identificar cuellos de botella, tiempos de espera y áreas de mejora de procesos.
- **Compatibilidad con conjuntos de datos grandes:** Puede manejar conjuntos de datos de eventos grandes, lo cual es esencial para analizar procesos complejos.
- **Soporte de eventos complejos:** Manejo de eventos con atributos y propiedades, lo que permite un análisis más detallado.

DISCO es una herramienta muy utilizada y apreciada, pero también puede tener algunas desventajas, por ejemplo [17]:

- **Costo:** DISCO es una herramienta comercial, lo que significa que puede tener un costo asociado a su adquisición y licenciamiento. Esto puede ser una limitación para usuarios individuales u organizaciones pequeñas con recursos financieros limitados.
- **Curva de aprendizaje:** Al igual que con cualquier herramienta especializada, DISCO podría tener una curva de aprendizaje pronunciada para aquellos que son nuevos en la minería de procesos o en la herramienta misma. Comprender la funcionalidad avanzada puede llevar tiempo y esfuerzo.
- **Requisitos de hardware:** Para manejar grandes conjuntos de datos de eventos y realizar análisis complejos, DISCO puede requerir importantes recursos de hardware. Esto podría limitar su uso en sistemas con capacidades limitadas.

- **Dependencia de los datos de calidad:** Como ocurre con cualquier herramienta de minería de procesos, los resultados dependen en gran medida de la calidad de los datos de entrada. Si los datos son incompletos, inconsistentes o mal registrados, los resultados podrían ser menos precisos o útiles.
- **Soporte de formatos de datos:** Como ocurre con muchas herramientas, el soporte para formatos de datos específicos podría ser un desafío. Es posible que los usuarios necesiten ajustar o transformar sus datos antes de poder utilizarlos.

Es fundamental destacar que las herramientas mencionadas presentan áreas de mejora; por ejemplo, en el caso de ProM y Disco, es necesario nivelar la curva de aprendizaje. Las herramientas gráficas carecen de una representación matemática que exige información más precisa sobre los procesos, lo que contribuiría a disminuir la subjetividad. Por otro lado, las herramientas no basadas en computadora no posibilitan la simulación de los procesos modelados, limitando la capacidad de observar su funcionamiento para una comprensión más profunda y la realización de análisis What-If.

En este trabajo, se presenta un algoritmo y una aplicación diseñados para abordar estas áreas de oportunidad.

## 1.2. Objetivo General

La presente investigación tiene como fin crear un algoritmo de modelación de Procesos de Negocios que sirva como base para la reorganización y mejora de la cadena de valor de las empresas, incorporando datos estructurales, históricos y reales para predecir el rendimiento futuro de procesos.

Se utilizarán Redes de Petri como herramienta de modelación, a efecto de evitar la subjetividad, información incompleta o sesgada que se presenta con otras herramientas de modelado.

## 1.3. Objetivos Específicos

- Revisar estado del arte para comprender el desarrollo del modelaje de procesos de negocios
- Desarrollar un algoritmo para convertir descripciones de procesos de negocios a Redes de Petri.
- Desarrollar algoritmos de análisis a partir del modelo de Red de Petri obtenida.
- Desarrollo de aplicación para la simulación de procesos de negocios

## 1.4. Hipótesis

La mejora de los procesos de negocios pretende modificarlos para hacerlos mas eficientes, eficaces y flexibles. Es decir, menor costo, mayor calidad y menor tiempo de su ejecución.

Los costos son los gastos relacionados con el producto: la cantidad de dinero que la organización invierte para producir y dejar el producto o servicio listo para la venta.

Los gastos comprenden los desembolsos que no están directamente vinculados con el producto o servicio, como lo es alquiler, la publicidad y la comisión de los vendedores.

El tiempo del proceso de negocios, se refiere al intervalo de tiempo que ocupan todas las actividades de los procesos de negocios desde su inicio hasta que el producto o servicio está listo para consumirse.

Mediante la representación procesos de negocios a partir de redes de Petri es posible llevar a cabo su análisis desde una perspectiva que permita su mejora con dos elementos cuantitativos: costos y tiempos.

## 1.5. Planteamiento del problema

El análisis de procesos de negocios (Business Processes, BP) examina las propiedades de estos; a efecto de crearlos o mejorarlos; en otras palabras, se investiga: si agregan valor al negocio, si se ejecutan en uno o más lugares, si las tareas son realizadas individualmente, en grupos o áreas funcionales, si comprenden tareas independientes, anidadas o interdependientes o disparan otra actividad o proceso. Por otra parte, existen procesos complejos que pueden ser difíciles de capturar en un solo diagrama, dónde la modelación puede resultar confusa si no se atiende de manera adecuada, además los cambios del medio ambiente, ya sea, tecnológicos, de clientes o regulatorios, de tal manera que si los BP no se actualizan a tiempo pueden llevar a un estado de obsolescencia difícil de revertir. Las principales características de un proceso de negocios son: capacidad, productividad, eficacia y flexibilidad, en el cual, para realizar un análisis plenamente justificado se recomienda utilizar herramientas cuantitativas, estadísticas, análisis de tiempos y movimientos, simulación, minería de datos, etc.

Para abordar estos problemas, es importante contar con un enfoque estructurado para la modelación de proceso, estableciendo las operaciones de manera lógica y ordenada, que permita realizar un análisis en conjunto, involucrando a las partes interesadas clave, teniendo objetivos claros. En resumen, crear un algoritmo de modelación de procesos de negocios, para examinar detalladamente cada actividad por separando o en conjunto y conocer sus características, cualidades o estado.

La mejora de los procesos de negocios pretende modificarlos para hacerlos más eficientes, eficaces y flexibles. Es decir, menor costo, mayor calidad y menor tiempo de su ejecución.

- Los costos son los gastos relacionados con el producto: la cantidad de dinero que la organización invierte para producir y dejar el producto o servicio listo para la venta.
- Los gastos se refieren a los egresos que no guardan una conexión directa con la producción o servicio, como lo es: rentas, publicidad o la comisión de los vendedores.
- El tiempo del proceso de negocios, se refiere al intervalo de tiempo que ocupan todas las actividades de los procesos de negocios desde su inicio hasta que el producto o servicio está listo para consumirse.

La representación de BPs mediante una herramienta modelado, como el caso de las redes de Petri, permite realizar un análisis claro para llevar a cabo su optimización con dos elementos cuantitativos; costos y tiempos.

## 1.6. Organización de la tesis

En el segundo capítulo se detallan los fundamentos de procesos de negocio con el fin de exponer el contexto de la investigación.

En el tercer capítulo, se exponen los fundamentos de las redes de Petri, la herramienta de modelado seleccionada para desarrollar el algoritmo propuesto.

En el cuarto capítulo, se detallan los procedimientos empresariales de una entidad responsable de la gestión del suministro de agua potable. Estos procedimientos sirven como base para la configuración del caso de estudio.

En el quinto capítulo, se explica el algoritmo y la aplicación creados para generar redes de Petri a partir de la descripción de un proceso de negocio.

Para finalizar se establecen las conclusiones de la investigación, así como los trabajos futuros a desarrollar.

# CAPÍTULO 2

## FUNDAMENTOS DE PROCESOS DE NEGOCIOS (BUSINESS PROCESS - BPs)

Las organizaciones se enfrentan a desafíos significativos cuando se trata de la modelación o reingeniería de procesos, ya que los cambios, de cualquier naturaleza, son inherentemente impredecibles. Estos cambios pueden incluir innovaciones tecnológicas, modificaciones en las regulaciones fiscales, evolución de las tendencias de los clientes, variaciones en las condiciones de los proveedores e incluso factores externos como cambios climáticos, niveles de contaminación y horarios. Recientemente, ha sido significativo el impacto de las pandemias en las organizaciones, lo que demuestra lo impredecibles que pueden ser las perturbaciones.

La capacidad de reaccionar de manera rápida y efectiva a estas variaciones proporciona ventajas competitivas significativas. Por otro lado, una respuesta lenta o la falta de reacción ante tales cambios puede resultar extremadamente costosa, como lo ejemplifican casos bien conocidos de compañías que no lograron adaptarse a tiempo, como Kodak, Blockbuster, Nokia, Olivetti, Polaroid y muchas otras.

Para las empresas, es de vital importancia contar con metodologías que les permitan responder con agilidad a las transformaciones que puedan surgir y adaptarse a ellas. Esta capacidad de adaptación es esencial para mantener la competitividad en el mercado.

Las empresas de clase mundial como Mercedes Benz, Volvo, Apple, Johnson y Johnson, Walmart, etc., exigen a sus proveedores estar certificados en la norma de gestión de calidad; ISO 9001, la cual, indica que la organización debe aplicar el enfoque a procesos, siendo el punto de partida la identificación de los procesos y buscar la relación entre ellos. Esto se logra a través del mapeo de procesos. En la sección 4.4.1 del apartado 4.4 de la norma ISO 9001

se puede leer; "La organización debe determinar los procesos necesarios para el Sistema de Gestión de la Calidad", la importancia de esta mención es que se debe establecer una gestión basada en procesos para acceder a empresas de clase mundial. En la tabla 2.1 se muestra el apartado 4 de la norma ISO 9001.

Tabla 2.1: Apartado 4 de la ISO 9001 [21]

<b>Apartado 4 de la ISO 9001</b>
<p>4. Contexto de la Organización</p> <p>4.1 Comprensión de la organización y de su contexto</p> <p>4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas</p> <p>4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de la calidad</p> <p>4.4 Sistema de gestión de la calidad y sus procesos</p> <p>4.4.1. La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un SGC, incluidos los procesos necesarios y sus interacciones, de acuerdo con los requisitos de esta NI.</p> <p><b>La organización debe determinar los <u>procesos necesarios para el SGC y su aplicación a través de la organización, y debe:</u></b></p> <p>(a) determinar las entradas requeridas y las salidas esperadas de estos procesos;</p> <p>(b) determinar la secuencia e interacción de estos procesos;</p> <p>(c) determinar y aplicar los criterios y los métodos (incluyendo el seguimiento, las mediciones y los indicadores del desempeño relacionados) necesarios para asegurarse de la operación eficaz y el control de estos procesos;</p> <p>(d) determinar los recursos necesarios para estos procesos y asegurarse de su disponibilidad;</p> <p>(e) asignar las responsabilidades y autoridades para estos procesos;</p> <p>(f) abordar los riesgos y oportunidades determinados de acuerdo con los requisitos del apartado 6.1;</p> <p>(g) evaluar estos procesos e implementar cualquier cambio necesario para asegurarse de que estos procesos logran los resultados previstos;</p> <p>(h) mejorar los procesos y el SGC.</p> <p>4.4.2. En la medida en que sea necesario, la organización debe:</p> <p>(a) <b>mantener <u>información documentada para apoyar la operación de sus procesos;</u></b></p> <p>(b) conservar la información documentada para tener la confianza de</p>
Continua en la página siguiente.

**Tabla 2.1 – continuación de la página anterior**

<b>Apartado 4.4 de la ISO 9001</b>
<i>que los procesos se realizan según lo planificado.</i>
...
<i>NI - Norma Internacional</i>
<i>SGC - Sistema de Gestión de Calidad</i>

Siguiendo lo mencionado en el párrafo anterior, se hace patente la importancia de disponer de documentación sólida que respalde el modelo de los procesos de negocio. Dado el relevante papel de los procesos de negocio, en este documento, se presenta una propuesta de algoritmo que permite a las organizaciones modelar sus procesos de negocio con el propósito de simular su comportamiento en situaciones de creación, modificación o mejora.

Es evidente que para lograr un modelado de procesos efectivo, es imperativo contar con información detallada del proceso, incluyendo actividades, tiempos, costos, relaciones entre actividades y conexiones con otros procesos, entre otros aspectos. En algunas ocasiones, la falta de datos y la ausencia de sinergias entre departamentos pueden estar relacionadas con la carencia de tecnologías de información adecuadas, lo cual constituye un tema que amerita estudios posteriores.

Para encuadrar las teorías relacionadas a la presente investigación, en esta sección se describen los conceptos que a juicio del autor son los que representan mayor relevancia.

## **2.1. Cadena de suministro (Supply Chain - SC)**

La cadena de suministro (también conocida como cadena de abastecimiento o cadena logística) es un proceso que involucra todas las actividades involucradas desde la adquisición de materia para la producción de un bien o servicio hasta la entrega al cliente. Es un sistema que coordina y gestiona el flujo de materiales, información y recursos a lo largo de toda la cadena, con el objetivo de satisfacer la demanda del cliente de la manera más eficiente y efectiva posible [16].

La cadena de suministro comprende diversas etapas, que generalmente incluyen:

1. Proveedores: El proceso inicia con la producción de materia prima necesaria para crear los insumos para la fabricación, ensamblado o disposición de un bien o servicio
2. Fabricación o Producción: En esta etapa, las materias primas se transforman en productos terminados a través de procesos de fabricación o producción.

3. Distribución y Logística: Una vez que los productos están listos, se transportan y distribuyen desde el lugar de producción a los puntos de venta o a los consumidores finales.
4. Minoristas: Si la cadena de suministro incluye intermediarios, los productos pueden pasar por minoristas antes de llegar a los consumidores.
5. Consumidores: El cliente final es el último eslabón de la cadena de suministro. El proceso finaliza cuando los compradores al detalle han adquirido el servicio o producto.

El factor principal de la CS es el trabajo conjunto de dos o más empresas, para generar ventajas competitivas y ganancias. La colaboración consiste en compartir información, recursos, recompensas, riesgos y responsabilidades, así como realizar procesos de planeación, toma de decisiones y resolución de problemas de manera conjunta. Los procesos de negocios involucrados son: transporte, almacenamiento, transformación, renta de servicios, ventas, etc, cada uno de estos procesos se ejecuta en cada una de las organizaciones que intervienen en la citada cadena.

Un error de conceptualización de la cadena de suministro es cuando se piensa que el enfoque únicamente es crear una relación entre un comprador y un vendedor, lo cual no necesariamente significa que se generen ventajas competitivas para las partes involucradas, por tal razón es importante considerar a todos los clientes y proveedores ya sean internos o externos en la CS.

La gestión efectiva de la cadena de suministro es esencial para garantizar la disponibilidad y entrega oportuna de los productos, mantener los costos bajo control, reducir el desperdicio y mejorar la satisfacción del cliente. Para lograrlo, se utilizan diferentes estrategias y herramientas, como la planificación de la demanda, la gestión de inventarios, el pronóstico, la optimización de rutas de transporte y el uso de tecnologías de la información para mejorar la visibilidad y coordinación en toda la cadena [16].

Una cadena de suministro bien diseñada y administrada puede brindar ventajas competitivas a las empresas, ya que les permite responder de manera ágil a las demandas del mercado y adaptarse a los cambios en las condiciones económicas y comerciales. Además, una cadena de suministro eficiente también puede tener un impacto positivo en la sostenibilidad y responsabilidad social corporativa al reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia energética en los procesos de producción y distribución [16].

## 2.2. Planificación de Recursos Empresariales (Enterprise resource planning - ERP)

Conjunto de módulos de software integrados a través de una misma base de datos (BD). La BD recopila información procedente de diversas divisiones y departamentos de la empresa, interviniendo en procesos clave de negocios, por ejemplo: manufactura y producción, finanzas, contabilidad, ventas, marketing, recursos humanos, etc. La disposición de las aplicaciones apoya a la mayoría de procesos de negocios de una organización, en la actualidad la mayoría de las empresas (medianas y grandes) cuentan con su ERP ya que la relación costo beneficio resulta por demás favorable. Una premisa de hecho, en relación con lo anterior es que existen una infinidad de casos de éxito en su implementación, pero también existen casos de fracaso, la lista de razones por las que falla la implementación de un ERP queda fuera del alcance del presente documento, sin embargo, existe una que es en la que el autor del presente documento quisiera centrarse: la falta de documentación del modelo de procesos de negocios de la organización hace que la implementación fracase

Existen dos roles importantes cuando una organización desea adoptar un ERP; el vendedor del sistema (consultor) y el usuario (dueño del proceso). Suponiendo que tanto el vendedor conoce perfectamente el software como el usuario conoce perfectamente los procesos, en caso de que existieran discrepancias entre el software y las actividades de los procesos, la solución podría darse por dos vertientes: se adecua el sistema o se realiza una reingeniería de procesos. Y en esta segunda opción el modelado de procesos de negocio resulta un elemento clave para la implantación de un ERP. [19].

La característica principal de un ERP es que la base de datos es centralizada, esto quiere decir que todos los módulos que lo integran (ventas, finanzas, contabilidad, control de producción, nómina, etc.) registran y toman información de la misma base datos. Además como son sistemas basados en red, la información estará disponible de manera inmediata.

Las ventajas del uso de un ERP son las siguiente [3]:

1. Unificar: Permite unificar todas las funciones y departamentos de la empresa en un sol framework, lo que facilita la comunicación y la colaboración entre los diferentes equipos.
2. Automatización: Aunque no es una característica de los ERP; las tareas repetitivas y bien estructuradas pueden automatizarse, evitando errores y ahorrando tiempo en su ejecución
3. Información en tiempo real: Debido a que los ERP son sistemas que trabajan en red,

permite contar con información actualizada en tiempo real, facilitando la toma de decisiones.

4. Eficiencia y productividad: Los ERP están basados en las mejores prácticas de la industria, cuando una empresa implanta un sistema de este tipo, por consecuencia, mejora la eficiencia y aumentan la productividad.
5. Reducción de costos: Al ser más eficiente los costos se reducen.
6. Control y visibilidad: Se optimiza la toma de decisiones gerenciales así como todo lo relacionado con los diferentes procesos empresariales, por tener la capacidad de contar con información confiable, oportuna y veraz.
7. Cumplimiento normativo: Ayuda a garantizar el cumplimiento de regulaciones y leyes vigentes al mantener registros precisos y actualizados.
8. Escalabilidad: Los sistemas ERP son escalables y se pueden adaptar a medida que la empresa crece o cambia.

El uso e implementación de estos sistemas requiere de infraestructura necesaria para su aplicación, además requiere de cierta capacitación al personal para el correcto uso, administración, obtención, y lo más importante, la interpretación correcta de la información contenida en él. Cada implementación es única y puede requerir modificaciones para satisfacer los requisitos comerciales particulares [19].

### **2.3. Cadena de Valor (Value Chain - VC)**

La cadena de valor es un modelo conceptual diseñado por Michael E. Porter (1985) en el que se establece la distinción entre actividades primarias y actividades de apoyo. Es de un modelo de carácter general donde las actividades primarias se refieren a todas aquellas que agregan valor a la fabricación de un producto o en su defecto al ofrecimiento de un servicio. En cambio, las actividades de apoyo son todas que se encuentran detrás de “producción”, no agregan valor, pero sin estas no sería posible alcanzar el objetivo de la organización. En la figura 2.1 se ejemplifica de manera general la cadena de valor de una empresa fabricante de zapatos [49]



Figura 2.1: Cadena de valor de una empresa fabricante de zapatos

Fuente: Elaboración propia

Una empresa se compone de diferentes procesos de negocios, dichos procesos pueden clasificarse como actividades primarias o secundarias, permitiendo así la identificación muy puntual de fuentes de: ventaja competitiva, mejoramiento o actividades innecesarias. Es importante precisar que la relación entre los conceptos de cadena de valor y procesos de negocios es significativa y para no crear confusión en los lectores del presente documento se establece que las actividades primarias de la cadena de valor se refieren a procesos de negocios primarios y las actividades de apoyo de la cadena de valor se refieren a procesos de negocios de apoyo [50].

Desde su presentación, el uso y análisis de cadenas de valor se ha extendido a varias aplicaciones más allá de estudios individualizados. El análisis de la cadena de valor se ha empleado para examinar y evaluar industrias completas y grupos industriales, así como sistemas específicos dentro de las empresas. Asimismo, se ha empleado para examinar actividades cada vez más dispersas en varios países o la denominada “cadena global de valor” GVC. Este segmento también se conoce como cadenas globales de productos básicos, redes globales de producción o cadenas de suministro internacionales. GVC define la modernización económica “como un cambio hacia productos, servicios y etapas de producción de mayor valor agregado a través de una mayor especialización y vínculos nacionales e internacionales eficientes” y enfatiza la importancia de los vínculos internacionales [50].

Los impulsores de la cadena de valor son los factores que afectan la forma que se crea, entrega y agrega valor en un proceso productivo o en la prestación de un servicio [31]. Estos impulsores pueden variar según la industria y el tipo de negocio, pero algunos de los más comunes se muestran en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2: Impulsores de la Cadena de Valor [31]

<b>Impulsores de la Cadena de Valor</b>	
Impulsor	Descripción
Tecnología	La tecnología permite que los procesos sean más eficientes y agrega valor a los productos.
Recursos Humanos	Las personas mejor preparadas, con mas habilidades y destrezas pueden influir significativamente en la agregar valor a la cadena.
Procesos y Operaciones	La mejora y automatización de procesos, reduce costos y los productos o servicios son ofrecidos con mayor calidad.
Logística y Distribución	La distribución adecuada, contribuye a entregas a tiempo y a su vez mayor satisfacción al cliente.
Investigación y Desarrollo	Conduce a la creación de nuevos productos o servicios innovadores que generen un valor agregado para los clientes.
Colaboración con Proveedores y Socios	Los vínculos con proveedores y socios mejoran la calidad y la eficiencia de los insumos necesarios, así como mejorar la calidad en conjunto.
Calidad	La mejora continua puede conducir a una mayor satisfacción del cliente y a la creación de valor mediante productos o servicios con mayores ventajas.
Estrategia de Marketing	Las organizaciones comercializan sus productos o servicios de forma que puede afectar la percepción del valor por parte del cliente y, por lo tanto, influir en la demanda y éxito del negocio.
Responsabilidad Social Corporativa	Una empresa socialmente responsable es un impulso para la reputación y la confianza del cliente en la empresa, lo que puede tener un impacto positivo en la cadena de valor.
Continua en la página siguiente.	

**Tabla 2.2 – continuación de la página anterior**

<b>Impulsores de la Cadena de Valor</b>	
Impulsor	Descripción
Entorno Regulatorio y Legal	Las empresas deben adaptarse a las regulaciones y políticas gubernamentales ello puede afectar la operación y la estructura de la cadena de valor, así como la adopción de ciertas prácticas y tecnologías.

Es importante destacar que estos impulsores pueden interactuar entre sí y que la combinación adecuada de ellos puede marcar una diferencia significativa en la competitividad y el éxito de una empresa a lo largo de su cadena de valor.

Otra forma de clasificar los impulsores de la cadena de valor viene es torno al comprador y al productor, la tabla 2.3 muestra dicha clasificación junto con los factores relacionados [13].

Tabla 2.3: Impulsores de la Cadena de Valor (compradores - productores) [31]

<b>Impulsores de la Cadena de Valor (compradores - productores)</b>		
	<b>Impulso por parte del comprador</b>	<b>Impulso por parte del productor</b>
Tipo de industria	Bienes de consumo que requieren mucha mano de obra, donde los grandes minoristas, comerciantes y empresas comerciales desempeñan un papel central en el establecimiento de redes de producción, generalmente en países en desarrollo (exportadores).	Industrias con grandes capitales y orientadas a la tecnología dominadas por grandes corporaciones transnacionales que juegan un papel clave en la gestión de las redes de producción.
Tipo de Bienes	Prendas de vestir, calzado, juguetes, artículos para el hogar productos electrónicos	Semiconductores, maquinaria eléctrica, automóviles.

Sin embargo, independientemente de quién impulse la cadena, el valor agregado debe reflejarse a través de la secuencia natural de operaciones, de etapa a etapa. El valor agregado implica tanto la creación como la captura de valor.

El análisis de la cadena de valor a nivel de la industria es una forma efectiva de examinar la interacción entre los diferentes actores en una industria determinada. Ayuda a

identificar los recursos necesarios para competir con éxito en una industria específica y cómo cada miembro de la cadena puede maximizar sus retornos individuales y los de la cadena en conjunto. Todas las empresas comerciales son parte de una red de creación de valor. Sin embargo, algunas empresas tienen mayor influencia que otras en la configuración de la red; otros tienen roles menores que desempeñar y tienden a ser moldeados por la red [50].

Es importante que los países en desarrollo aprecien la importancia de evaluar el desempeño de sus industrias desde la perspectiva de la cadena de valor. Esto es especialmente útil cuando se trata de sectores dominados por PYMES, como artesanías y artículos novedosos. La configuración y las características de la cadena de valor determinan las posibilidades de éxito de las pequeñas empresas en una industria donde los agentes de producción (talleres y fábricas artesanales, contratistas de producción, intermediarios artesanales y comerciantes) se están convirtiendo en las empresas líderes. El análisis de la cadena de valor (ACV) incluye enfoques tanto cualitativos como cuantitativos. No hay reglas estrictas sobre cómo debe llevarse a cabo, aunque se sugiere que se utilice primero un enfoque cualitativo, seguido de una investigación cuantitativa. Se recomienda la observación, las entrevistas semiestructuradas, las reuniones de grupos focales y los cuestionarios para desarrollar una comprensión de los diversos actores de la cadena y cómo interactúan entre sí [50].

## 2.4. Proceso de negocio, modelado y mapeo

Proceso de negocio; es una secuencia de tareas estructuradas relacionadas entre sí que se ejecutan en serie o paralelo para llevar a cabo todas las operaciones de la empresa, ya sea las que están relacionadas para agregar valor al producto o servicio (actividades primarias) o bien las actividades de apoyo. En este conjunto de tareas suelen intervenir diferentes áreas y departamentos e involucrar distintos perfiles de profesionales que hacen un trabajo colaborativamente, en la figura 2.2 se ejemplifica de manera general un proceso de negocio.

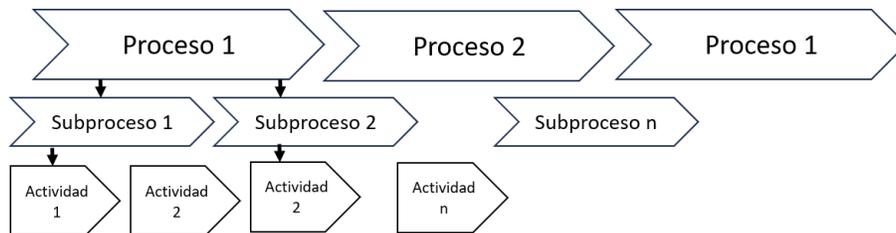


Figura 2.2: Representación general de un proceso de negocio [51]

El modelado de procesos describe cualquier representación abstracta de un proceso. Un

modelo de proceso puede ser tan simple como un diagrama de cajas y flechas o tan complejo como el software de computadora que permite la simulación del proceso o bien modelar el proceso en términos de ecuaciones, en esa situación se tendrá un modelo matemático [51].

El mapeo de procesos consiste en desarrollar una representación gráfica del proceso, con el objetivo de visualizarlo y dejar de lado “lo abstracto” y con ello se comprende de mejor manera. Una vez que una empresa desarrolla un mapa de procesos, es posible realizar un análisis de carencias, que en sí es una evaluación de las disparidades entre la situación actual de la organización y sus objetivos a lograr.

## **2.5. Reingeniería de Procesos de Negocios (Business Process Reengineering - BPR)**

La reingeniería es un enfoque que analiza y modifica los procesos básicos de trabajo en el negocio. Se refiere a repensar de manera fundamental los procesos de negocios y rediseñarlos radicalmente, con el fin de mejorar su desempeño. Para los administradores de empresas, permite aplicar los conocimientos de sus empresas previamente adquiridos, con el propósito de hacerlos más efectivos: más rápidos, mayor cantidad de producción, mayor calidad, menores costos, mayores ganancias. Se refiere a las actividades que desarrollan las empresas para optimizar y adaptar sus procesos, integrando procesos, personas e información. Se requiere una infraestructura capaz de separar flujos, reglas de negocios y servicios. Los factores clave son: la orientación hacia los procesos, el cambio radical y la gran magnitud de los resultados esperados, además de implica una integración en tiempo real entre los procesos de la empresa y los procesos de sus proveedores, socios de negocios y clientes.

Por otra parte, una vez que el proceso ha sido diseñado o rediseñado se debe probar antes de implementarse, para ello es recomendable utilizar una aplicación que realice todas las funciones del proceso y como un valor agregado, tenga la posibilidad de medir el desempeño del mismo, ya sea en tiempos o costos. De esa manera se contará con información suficiente para tomar la decisión de su implementación.

# CAPÍTULO 3

## REDES DE PETRI (Petri Nets PN)

Una red de Petri es una herramienta gráfica creada por Carl Adam Petri, sus orígenes se remontan a 1939 cuando, a la edad de 13 años Petri creó los gráficos para describir los procesos químicos que producían un compuesto final de varios elementos. En su tesis doctoral -Comunicación con Autómatas- en la Universidad Técnica de Darmstadt, Alemania, en 1962. Se definieron los conceptos de transiciones y tokens, describió en detalle el aspecto algebraico de los sistemas distribuidos. Su tesis defendía que la teoría de los autómatas debía ser sustituida por una nueva teoría que respetara los resultados de la física moderna, por ejemplo, la teoría de la relatividad y el principio de incertidumbre. A partir de entonces, él y sus colaboradores publicaron una serie de artículos que aplican sus redes a áreas como la economía, mecánica, Ciencias de la Computación, lógica, organización, biología y telecomunicaciones, protocolos de comunicación, con el propósito de crear una herramienta en red para la transferencia interdisciplinaria de conocimiento estructural.

La teoría general de redes ha sido su principal foco de investigación. La teoría y las aplicaciones de la red de Petri fueron muy avanzadas por el Computation Structure Group del MIT a principios de la década de 1970. [51]

Las Redes de Petri permiten modelar el comportamiento de procesos. Siendo el modelo en sí una representación de la realidad y obviamente una representación no implica su construcción real con los inconvenientes tanto técnicos como financieros. En los procesos de negocio, la intervención de dos o más áreas de la organización de manera paralela es frecuente, por ejemplo en el proceso de reinscripción de alumnos en una universidad, las actividades involucradas podrían ser: la consulta de adeudos a tesorería, biblioteca, almacén de deportes y todas estas pueden hacerse de manera paralela a pesar de estar hablando de tres áreas diferentes. Las Redes de Petri fueron diseñadas específicamente para modelar este tipo de sistemas.

Las redes de Petri están constituidas por lugares, transiciones, arcos dirigidos y marcas o fichas que ocupan posiciones dentro de los lugares. Las reglas son: Los arcos conectan un lugar con una transición, así como una transición a un lugar. No puede haber arcos entre lugares ni entre transiciones.

Durante el proceso de desarrollo del sistema, el grupo toma decisiones difíciles con respecto a dónde asignar los recursos del proyecto. A medida que los sistemas se vuelven más complejos y los presupuestos más restringidos, entender cómo tomar estas decisiones se vuelven más problemáticas.

Los gerentes de proyecto y los ingenieros de sistemas pueden usar las Redes de Petri para representar con precisión su sistema y calcular de manera más precisa la madurez de la tecnología a lo largo del ciclo de vida del desarrollo del sistema. Este modelo puede ayudar en el proceso de decisión de asignación de recursos del sistema y permite una mejor comprensión de cómo funcionan los componentes clave del sistema [38].

## 3.1. Fundamentos de PN

La herramienta de modelado para el presente proyecto es redes de Petri. Una red de Petri se define como un gráfico de dos partes  $N = \langle P, T, R \rangle$ , se distinguen dos tipos de elementos: lugares ( $P$ ) y transiciones ( $T$ ), el componente  $R$  es denominado arco y relaciona los lugares y a las transiciones. Los lugares se indican con círculos, mientras que las transiciones se indican con barras. Como regla de la teoría de las redes de Petri, no se pueden conectar elementos del mismo tipo. Los lugares (círculos) pueden acomodar tokens que pueden moverse por la red a través de transiciones (barras). La disposición de los tokens en los lugares está determinada por el conjunto de marcas  $M$ , que asigna un número entero a cada lugar:  $M = \langle M(p_1), \dots, M(p_i) \rangle$ , donde  $i$  es un número de lugares de la red, y  $M(p_i)$  es el número de tokens en el lugar  $p_i$ . Por lo tanto, el número de tokens y su disposición alrededor de la red controlan la ejecución de la misma.

### 3.1.1. Redes de Petri y Redes Generalizadas

Las redes de Petri es una herramienta para modelar los flujos de trabajo, al modelarlos los usuarios tienden a dibujar nodos que representan tareas o actividades, y arcos entre los nodos que representan la secuencia de actividades. Las redes de Petri (PN) pertenecen a una técnica que está ganando popularidad en diferentes sectores industriales, como el automotriz y computacional

En la década de los noventa ganaron popularidad para simular sistemas más comunes, por ejemplo, líneas de producción, procesos de servicios bancarios, cadenas de suministros, entre otros. Las PN tienen un fundamento matemático elegante y sencillo. Su representación gráfica explícita permite la visualización del comportamiento dinámico de los resultados en la simulación de proceso.

Las redes generalizadas (GN) son una herramienta para la descripción de modelos de negocios adaptables, flexibles, estructurados de sistemas complejos con muchos componentes diferentes e interactivos, y no necesariamente homogéneos, con arreglos paralelos y simultáneos. Las redes generalizadas representan una extensión y generalización significativa del concepto de redes de Petri.

Las PN y las GN contienen lugares, transiciones y tokens, pero las posiciones son de una estructura más compleja. Las entrada y salida en las transiciones de las GN contienen el momento de activación. Al ingresar a un nuevo lugar el Token cambia de características. Lo que constituye una diferencia muy importante, debido a que el movimiento del token representa el cambio de estado de la red, por lo que en las GN encontraremos la posibilidad de modelar sistemas más complejos.

En cuanto la teoría de Sistemas de Servicio en la que un servicio puede considerarse como la provisión de asistencia y experiencia a través de una interacción proveedor-cliente para crear y capturar valor en los negocios. En términos de recursos, los servicios también pueden entenderse como una serie de actividades en las que se utilizan recursos de diversa índole (empleados, recursos físicos, bienes, sistemas de proveedores de servicios) en interacción con el cliente para encontrar una solución a un problema o necesidad. Desde esta perspectiva, un sistema de servicios no es simplemente la suma de sus partes; más bien, las interacciones forman una construcción de orden superior. El servicio puede entenderse como una "... interacción entre entidades en un sistema reticular... para mejorar los resultados de co-creación de valor bajo una lógica ganar-ganar dentro de procesos interrelacionados" [6].

### **3.1.2. Modelado de procesos de negocios utilizando Redes de Petri**

Alrededor del año 1990, los procesos de negocios se convirtieron en un tema candente en la industria, ya que la gente se dio cuenta del hecho de que no estábamos explotando completamente el poder de los sistemas informáticos. Los sistemas de información que respaldan los procesos comerciales orientados a datos, lo que significa que estaban destinados a registrar el estado de los objetos que desempeñaban un papel en los procesos comerciales, en una base de datos. En consecuencia, la tecnología de bases de datos fue la principal tecnología a principios de los noventa. Además, los sistemas de información se crearon para respaldar

los procesos comerciales existentes mediante la automatización de sus tareas mediante la imitación del trabajo humano por una computadora.

Las computadoras pueden procesar información de formas completamente diferentes a las de las personas y es lógico aprovechar estas posibilidades para hacer que los procesos comerciales sean más efectivos y eficientes.

Las implementaciones más notables del concepto de sistemas de información conscientes de procesos son los sistemas de gestión de flujo de trabajo, una clase de componentes genéricos para la construcción de sistemas de información. Los sistemas de gestión del flujo de trabajo se han convertido en la contra parte de los sistemas de gestión de bases de datos. Mientras que un sistema de administración de base de datos está configurado por un esquema de base de datos y un conjunto de restricciones, un sistema de administración de flujo de trabajo se configura con un modelo de proceso. Un motor de flujo de trabajo puede integrarse en un sistema de información más grande de la misma forma que los motores de base de datos. Desde ca. Desde 1995 hasta alrededor de 2005, hubo un fuerte enfoque en el soporte de procesos comerciales únicos con motores de flujo de trabajo. Después de eso, el interés se trasladó a los procesos comerciales cooperativos, como se encuentra en las cadenas de suministro [43].

### 3.1.3. Aplicaciones

Las redes de Petri se han propuesto para una gran variedad de aplicaciones. Esto se debe a la generalidad y permisividad de su naturaleza. Su aplican casi a cualquier área de la ingeniería o sistema que puedan ser representados gráficamente, por ejemplo, diagramas de flujo para mostrar actividades, secuenciales, paralelas o concurrentes. En este tipo de representaciones es importante tener en cuenta que un modelo representado de manera muy general puede perder capacidad de análisis, cuanto más general habrá menos elementos para su análisis, de hecho, una de las desventajas de las redes Petri es que a medida que los sistemas o procesos a modelar van creciendo y haciéndose mas complejos las PN se van haciendo mas complejas y difíciles de entender y con ello dificultar el análisis, incluso para un sistema de tamaño modesto; observe en esta misma sección el modelo gráfico del “foult y cuenta en el baloncesto” [29].

Las áreas de aplicación de las redes de Petri según Murata son: el modelado y análisis de sistemas de software distribuido, sistemas de bases de datos distribuidas, programas concurrentes y paralelos, sistemas de control industrial/fabricación flexibles, sistemas de eventos discretos, sistemas de memoria multiprocesador, sistemas informáticos de flujo de datos, tolerantes a fallas sistemas, lógica programable y arreglos VLSI, estructuras y cir-

cuitos asincrónicos, compiladores y sistemas operativos, sistemas de información de oficina, lenguajes formales y programas lógicos. Otras aplicaciones interesantes consideradas en la literatura son redes de área local, sistemas legales, factores humanos, redes neuronales. filtros digitales y modelos de decisión. El uso de herramientas asistidas por computadora es una necesidad para las aplicaciones prácticas de las redes de Petri. La mayoría de los grupos de investigación de Petri-net tienen sus propios paquetes de software y herramientas para asistir en el dibujo, análisis y/o simulación de varias aplicaciones y en caso de la presente investigación se incluye un sistema para la simulación de procesos de negocio [29].

Como ya se mencionó, una red de Petri es un gráfico dirigido, junto con un estado inicial llamado marca inicial,  $M_0$ . El gráfico subyacente es un gráfico bipartito, ponderado y dirigido que consta de dos tipos de nodos, llamados lugares y transiciones, los arcos unen de un lugar a una transición o de una transición a un lugar. En la representación gráfica, los lugares se dibujan como círculos, las transiciones como barras o cuadros.

En el modelado, utilizando el concepto de condiciones y eventos, los lugares representan condiciones y las transiciones representan eventos. Una transición (evento) tiene un cierto número de lugares de entrada y salida que representan las condiciones previas y posteriores del evento, respectivamente.

La presencia de un token en un lugar se interpreta como la celebración de la verdad de la condición asociada con el lugar. En otra interpretación,  $k$  tokens se colocan en un lugar para indicar que  $k$  elementos de datos o recursos están disponibles.

Algunas interpretaciones típicas de las transiciones y sus lugares de entrada y salida.

En la Tabla 3.1 se muestran las connotaciones típicas de entrada y salida aplicadas a las transiciones.

Tabla 3.1: Connotaciones típicas de transiciones y lugares [29]

<b>Connotaciones típicas de transiciones y lugares</b>		
Lugares de entrada	Transición	Lugares de salida
Condiciones previas	Evento	Condiciones posteriores
Datos de entrada	Paso de cálculo	Datos de salida
Señales de entrada	Procesador de señal	Señales de salida
Recursos necesarios	Tarea o trabajo	Recursos liberados
Condiciones	Cláusula en lógica	Conclusión(es)
Almacenar (Buffer)	Procesador	Almacenar (Buffer)

En general, el comportamiento de sistemas se puede describir en términos de estados y de los cambios de estados del sistema. Para simular el comportamiento dinámico de un sistema, se cambia un estado o token en una red de Petri de acuerdo con la siguiente regla de transición (disparo):

1. Se dice que una transición  $t$  está habilitada si cada lugar de entrada  $p$  de  $t$  está marcado con al menos  $w(p, t)$  tokens, donde  $w(p, t)$  es el peso del arco de  $p$  a  $t$ .
2. Una transición podrá o no podrá estar habilitada para disparar un token (dependiendo del evento que se dispare)
3. Un disparo de una transición habilitada  $t$  mueve  $w(p, t)$  tokens de cada lugar de entrada  $p$  de  $t$ , donde  $w(t, p)$  es el peso del arco de  $t$  a  $p$ .

Una transición sin ningún lugar de entrada se denomina transición de origen, y una sin ningún lugar de salida se denomina transición de pozo. Una transición de origen está habilitada incondicionalmente y que la activación de una transición de pozo consume tokens, pero no produce alguno.

Un par de plazas  $p$  y una transición  $t$  se denomina auto bucle si  $p$  es un lugar tanto de entrada como de salida de  $t$ . Se dice que una red de Petri es pura si no tiene auto bucles. Se dice que una red de Petri es ordinaria si todos los pesos de sus arcos son uno

Ejemplo:

La regla de transición anterior se ilustra en las figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 utilizando el evento denominado “foult y cuenta” en el baloncesto. Para ello se debe aclarar que la plaza

disparo se refiere a un jugador de baloncesto que tiene la posibilidad de tirar al aro, para este ejemplo iniciamos con dos tokens (dos disparos), aunque sabemos que cualquier jugador puede tener la oportunidad de disparar al aro  $n$  veces dentro del tiempo reglamentario de juego.

El jugador dispara al aro y ocurren dos eventos, anota un tiro de tres puntos y en la misma jugada le cobran foul, fig. 3.2.

A la plaza Score se le suman 3 puntos  $w(3 \text{ pts} , t2) = 3$  , fig. 3.3.

El jugador dispara el tiro libre producto de la falta recibida y anota 1 punto, , fig. 3.4.

A la plaza Score se le suma 1 punto  $w(1 \text{ pt} , t4) = 1$ , fig. 3.5.

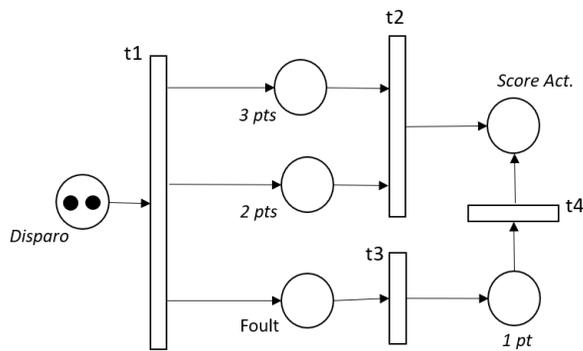


Figura 3.1: Estado inicial del proceso (el jugador se prepara para disparar)

*Fuente: Elaboración propia*

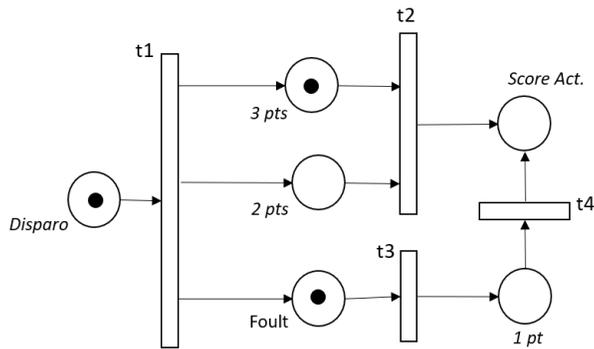


Figura 3.2: El disparo de 3 puntos se ha realizado  
*Fuente: Elaboración propia*

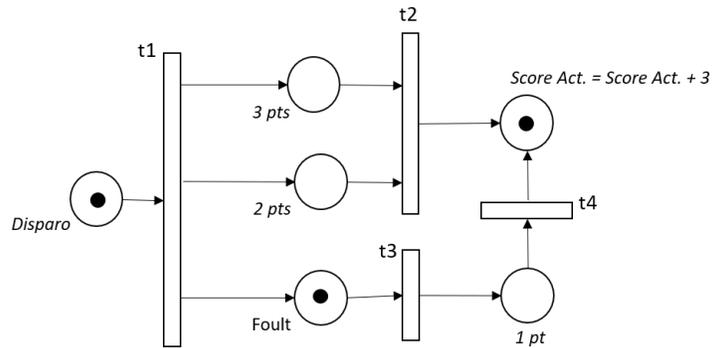


Figura 3.3: El score aumenta 3 puntos, junto con un tiro libre  
*Fuente: Elaboración propia*

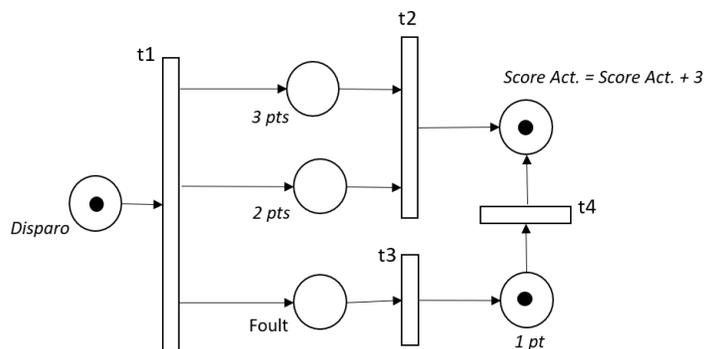


Figura 3.4: El jugador dispara tiro libre y lo anota  
*Fuente: Elaboración propia*

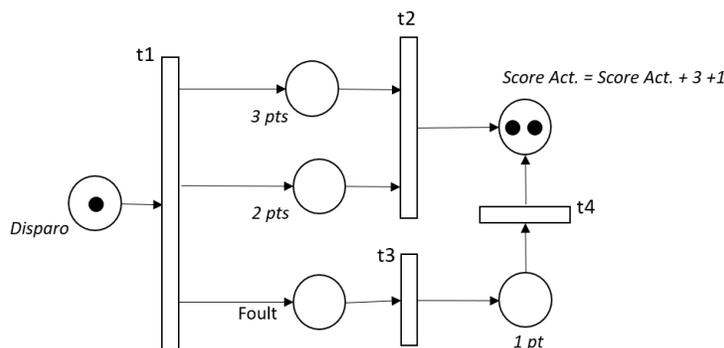


Figura 3.5: El score aumenta 1 puntos  
*Fuente: Elaboración propia*

Las redes de Petri proporcionan los fundamentos matemáticos para la construcción de modelos de procesos, cuentan con un formalismo de modelado con una representación gráfica, sintaxis y semántica precisas.

Los tokens de la red de Petri caracterizan los estados de un sistema dinámico, y la dinámica de los cambios de estado está modelada por el movimiento de los tokens alrededor de los lugares. El estado de la red se puede cambiar a medida que se activan sus transiciones. Cuando se activa una transición, se elimina un token de cada lugar de entrada y se agrega a cada lugar de salida. Las PN tienen ventajas fundamentales para el modelado de procesos en paralelos y resolver tareas prácticas de la vida real. En el contexto teórico, cuentan con beneficios esenciales como lo es el formalismo y tienen facilidades intuitivamente claras que corresponden a objetos reales (elementos de proceso), eventos y su interacción, lo que fomenta la construcción del modelo de proceso real. Además, las redes de Petri permiten demostrar la interacción de los componentes del proceso en su dinámica que se puede visualizar en la interpretación informática de la red. Las facilidades de manipulación con los parámetros de las redes y su cambio de estado con visualización inmediata las convierten en un instrumento realmente poderoso para modelar y simular diversos procesos [9].

### Aspectos relevantes de la construcción de redes de Petri [47]

#### Objetos

- Plaza (lugares) – Se representan con círculos
- Transiciones – Se representan con segmentos rectilíneos
- Arcos – Unen a las transiciones y alas plazas

## Reglas

- Una plaza  $p$  es entrada de una transición  $t$  si existe un arco desde  $p$  a  $t$
- Una plaza  $p$  es salida de una transición  $t$  si existe un arco desde  $t$  a  $p$ .
- Una plaza puede contener un número positivo o nulo de tokens o marcas, que se representan con un punto en el interior del círculo que representa una plaza.
- El marcado de una red de Petri es el conjunto de tokens asociados con cada una de las plazas en un instante dado. Define el estado de la red de Petri.

### Definición 1. Representación de red de Petri

4 – tupla  $N = (P, T, I, O)$

Donde:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$   $P$  es un conjunto finito y no vacío de lugares

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$   $T$  es un conjunto finito y no vacío de Transiciones

$P \cap T = \emptyset$

$P \cup T \neq \emptyset$

$I : P \times T \rightarrow \{0, 1\}$  Función de entrada, representa los lugares de entrada a la transición  $T$

$O : T \times P \rightarrow \{0, 1\}$  Función de salida, representa los lugares de salida a la transición  $T$

$\alpha_p$  y  $p^\alpha$  Representan las funciones de entrada y salida para los lugares

$\alpha_t$  y  $t^\alpha$  Representan las funciones de entrada y salida para las transiciones

$p \in P$  y  $t \in T$

$\alpha_p \{t \in T \mid I(t, p) > 0\}$  Transiciones de entrada a  $p$

$p^\alpha \{t \in T \mid O(p, t) > 0\}$  Transiciones de salida de  $p$

$\alpha_t \{p \in P \mid I(p, t) > 0\}$  Lugares de entrada a  $t$

$t^\alpha \{p \in P \mid O(t, p) > 0\}$  Lugares de salida de  $t$

### Definición 2. Representación gráfica de una red de Petri

4 – tupla  $N = (P, T, I, O)$  Es un grafo  $G$  múltiple dirigido y bipartito

$G = (V, A)$

Donde:

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_y\}$   $V$  es un conjunto finito de vértices

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_z\}$   $V$  es un conjunto finito de arcos dirigidos

$a_r = (v_s, v_d)$

$v_s \in V$

$v_d \in V$

$V \cup T, P \cap T = \emptyset$

$a_r \in A$

**Definición 3.** Representación matricial de una red de Petri

$N = (P, T, D^-, D^+)$  Donde:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$   $P$  es un conjunto finito y no vacío de lugares

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$   $T$  es un conjunto finito y no vacío de transiciones

$D^- [j, i] = \#(p_i, I(t_j))$  (Matriz que define la multiplicidad de entradas a las transiciones)

$D^+ [j, i] = \#(p_i, O(t_j))$  (Matriz que define la multiplicidad de salidas de las transiciones)

De lo anterior, se pueden determinar las siguientes matrices:

$D^- = [D^- [j, i]]_{mn}$  (Matriz de incidencia previa), donde:

$D^- [j, i] = \#(p_i, I(t_j))$ .

$D^+ [j, i] = \#(p_i, O(t_j))$ .

$D = D^+ - D^-$  Matriz de incidencia  $N$

$$D^- = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} \quad D^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} -2 & 0 & 0 & +1 & 0 & t_1 \\ 0 & -1 & -1 & +1 & 0 & t_2 \\ 0 & 0 & 0 & -2 & +3 & t_3 \\ p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & \end{bmatrix}$$

Figura 3.6: Representación matricial de una red de Petri [47]

## 3.2. Estructuras de Redes de Petri para Procesos de Negocio

En la sección de fundamentos de PN ha mencionado la definición y conceptos fundamentales de las PN, a continuación se establecerán los cuatro tipos de estructuras básicas que serán consideradas como elemento inicial de la modelación de BP.

1. En la figura 3.7 se muestra la PN para seleccionar la actividad a realizar de acuerdo a cierta condición, nótese que el token está situado en la plaza 1 y el siguiente desplazamiento será hacia la plaza 3 o 4 (disyunción). La selección de qué actividad a realizar estará dada por el propio proceso, por ejemplo: la descripción del proceso sería: Primera Actividad.”Genera Factura (1)”. Siguiendo Actividad. .En”trega factura al cliente personalmente (2).º .En”vía factura al cliente vía correo electrónica (3)”

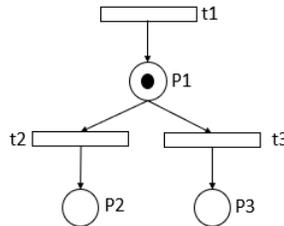


Figura 3.7: Selecciona la actividad a ejecutar [47]

2. En la figura 3.8 se presenta la PN para ejecutar actividades en paralelo; el token está situado en la plaza 1, el siguiente desplazamiento será hacia la plaza 3 y 4 (conjunción). La ejecución de actividades se realizará al mismo tiempo por ejemplo: la descripción del proceso sería: Primera Actividad.Çomprador llega a la caja (1)”. Siguiendo Actividades. Çajero registra la venta de artículos (2)z .En el sistema hace la disminución al inventario (3)”

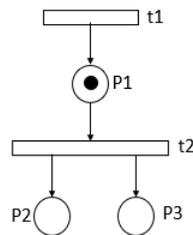


Figura 3.8: Distribución. Ejecución de actividades en paralelos o concurrentes [47]

3. En la figura 3.9 se muestra la PN para ejecutar una actividad disparada por una actividad distinta; se observa el token en la actividad 3, pero el token proviene de cualquiera de las dos actividades 1 o 2. La ejecución de la actividad 3 se realizará cuando el disparo provenga de la actividad 1 o 2, ejemplo: la descripción del proceso sería: Çomprador compra en línea (1).º Çomprador compra en tienda (2)”. .El departamento de finanzas genera factura (3)”.

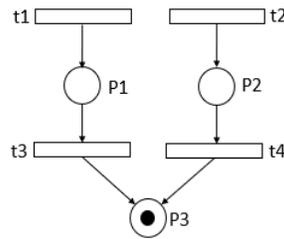


Figura 3.9: Atribución. Ejecución independiente de una actividad disparada por una actividad distinta [47]

4. En la figura 3.7 se presenta la PN para la conjunción de Sincronización de actividades en paralelo; en este esquema el token se encuentra en la actividad 1 y 2, debiéndose cumplir ambas actividades para que se ejecute la actividad 3, ejemplo: la descripción del proceso sería: Cliente paga anticipo de automóvil (1) . Empresa financiera aprueba crédito para adquisición de automóvil (2) . El departamento de manufactura ensambla automóvil (3) .

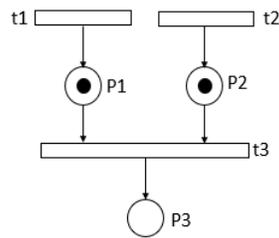


Figura 3.10: Conjunción. Sincronización de actividades en paralelo [47]

Los procesos de negocios pueden descomponerse en subprocesos, estos a su vez pueden adaptarse a las cuatro estructuras básicas de redes de Petri y obviamente de acuerdo al número de subprocesos con que cuente se obtendrá una red más o menos compleja .

### 3.3. Herramientas de Modelado vs Redes de Petri

Las herramientas de modelado presentan ciertas limitaciones, por ejemplo, a pesar de las mejoras en las nuevas versiones, persisten deficiencias en la semántica formal y en la representación gráfica. Algunos solo ofrecen una semántica operativa en forma de herramienta de simulación [43].

Es importante aclarar que la semántica de los diagramas de actividad BPMN y UML están convergiendo a las redes de Petri [43]. Además, la facilidad y flexibilidad de los lenguajes de modelado gráfico conlleva la posibilidad de introducir anomalías de flujo de control en las especificaciones del proceso, [37].

De manera general cualquier proceso puede definirse como una colección de actividades, con condiciones que permiten a estas actividades ocurrir, y ciertas condiciones que se cumplen después de la finalización de estas actividades. Una red de Petri idealmente refleja esta definición y separa explícitamente las condiciones y las actividades involucrados en un proceso, además de modelar los cambios de estado involucrados en ellos, esto a través de un movimiento simulado de tokens. Este modelo se ha utilizado para responder los siguientes cuestionamientos:

- Existe una secuencia en la ejecución de tareas que conducirán a la ejecución de una tarea en particular, (existencia de rutas).
- Ante la necesidad de ejecutar una tarea, es factible determinar qué otras tareas deben llevarse a cabo y verificar si se cumplen los requisitos de entrada, que incluyen recursos y datos, para la tarea seleccionada.
- Si una tarea específica se encuentra desactivada, es posible identificar cuáles otras tareas se verán impactadas por esta situación.
- En caso de que un recurso o elemento de datos esté inactivo, es factible determinar qué parte del proceso se verá afectada.

# CAPÍTULO 4

## PROCESOS DE NEGOCIOS DE UN ORGANISMO OPERADOR (OO)

Un organismo operador se encarga de operar, conservar y administrar los sistemas de agua potable, alcantarillado y otros servicios de una ciudad o región, poniéndolos a disposición de los habitantes de su comunidad. Son mecanismos dinámicos que deben cumplir con estándares de distribución, como calidad adecuada, cantidad suficiente, presión necesaria y constancia. Estos sistemas distribuyen el agua potable que llega a las poblaciones saneando el agua residual que sale de ellas, hacia centros urbanos o rurales.

Para que funcionen, los organismos operadores (y las empresas en general) deben considerarse muchos elementos distintos de información acerca de: proveedores, clientes, empleados, facturas, pagos y por supuesto, los productos y servicios. Se deben organizar las actividades laborales donde se utiliza dicha información para operar de manera eficiente y mejorar el desempeño general de la organización, por otro lado, los procesos de negocios se refieren a la manera en que se organiza, coordina y orienta el trabajo para producir un bien o servicio, son flujos de trabajo de materiales, información y conocimiento, es decir, conjuntos de actividades, también se refieren a las maneras particulares en que las empresas coordinan el trabajo, la información y el conocimiento.

Bajo el concepto de Cadena de Valor, se establecen algunos de los procesos de negocios para un organismo operador [30]:

### 4.1. Actividades primarias

- **Contratación de usuarios**

Se refiere al proceso de registro de nuevos usuarios para que utilicen los servicios del

organismo operador, esto implica proporcionar información básica, estudio de factibilidad y creación de una cuenta. Este proceso es un componente clave de la estrategia de crecimiento el objetivo principal es aumentar la base de usuarios, lo que lleva a un aumento en los ingresos.

- **Instalación de tomas de agua**

Después de la contratación; se instala la toma de agua, que básicamente consiste en hacer una conexión desde la línea general de conducción a la línea de conducción interna del domicilio en cuestión, el objetivo es lograr que el suministro de agua sea otorgado ininterrumpidamente.

- **Toma de lecturas**

Proceso de medición y registro de la cantidad de agua consumida por un usuario. Esta actividad permite la facturación de los servicios de agua y para monitorear el uso de agua en una propiedad. En la mayoría de los casos, la toma de lectura de agua se realiza utilizando un medidor de agua instalado en la propiedad, este medidor mide el flujo de agua que entra en la propiedad y registra el consumo en unidades de metros cúbicos.

- **Cálculo de importes a pagar por uso del servicio (facturación)**

La información de la lectura se utiliza para calcular el importe que el usuario debe pagar por el consumo de agua. Las tarifas pueden variar según la cantidad de agua consumida y las políticas del organismo operador. El consumo se calcula restando la lectura del mes actual menos la lectura del mes anterior.

- **Entrega de estados de cuenta a usuarios (recibos de agua)**

Proceso de proporcionar documento (físico) con los detalles de su consumo de agua y el importe que deben pagar por el servicio. El recibo de agua también incluye información adicional, como fecha de vencimiento, tarifa aplicada.

- **Pago del servicio**

Proceso mediante el cual los usuarios realizan el pago correspondiente por el consumo de agua que han utilizado. Este proceso permite al organismo operador recibir los fondos necesarios para operar y mantener el sistema de suministro de agua. Después de realizar el pago, los usuarios pueden recibir una confirmación de transacción exitosa. El pago puede realizarse en diferentes instituciones financieras, tiendas de conveniencia, las propias oficinas del organismo en cajeros automáticos diseñados exprofeso. El organismo actualiza los registros del usuario para reflejar que el pago se ha realizado.

- **Convenios por adeudo**

Es el acuerdo formal entre el OO y el usuario que tiene un adeudo pendiente por el consumo de agua. Este convenio generalmente se establece para reconocer la deuda

acumulada por parte del usuario y permitirle regularizar su situación financiera mientras continúa recibiendo el suministro de agua. Se establece un plan de pagos detallado que describirá cómo se dividirá el monto adeudado en pagos más pequeños y en qué plazos deberán realizarse.

■ **Convenios por contratación**

Acuerdo formal entre el OO y el usuario que establece los términos y condiciones bajo los cuales se proporcionará el suministro de agua. Este tipo de convenio se utiliza cuando un usuario desea obtener acceso regular y continuo al servicio de agua potable, pero desea pagar el importe de contratación a plazos.

■ **Ajustes**

Acuerdo entre el OO y el usuario para corregir o modificar la medición previa del consumo de agua registrada en un recibo anterior. Esto se requiere cuando se detectan discrepancias en la facturación del consumo de agua y es necesario realizar ajustes para reflejar con precisión el consumo real. Se registra el motivo específico por el cual se está llevando a cabo el ajuste de consumo de agua. Esto podría deberse a una lectura incorrecta del medidor, un error en la facturación previa o cualquier otro factor que haya resultado en una facturación inexacta.

■ **Estudios de factibilidad**

Proceso analítico y evaluativo que tiene como objetivo determinar la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de proporcionar un servicio de suministro de agua potable a una determinada área o comunidad. Estos estudios normalmente son solicitados por constructores de fraccionamientos o por empresas que utilizarán el agua como materia prima y son cruciales antes de emprender cualquier proyecto relacionado con la provisión de agua, ya que ayuda a tomar decisiones informadas y garantizar que se utilicen recursos de manera eficiente y sostenible.

■ **Extracción y almacenamiento**

Proceso de captar agua de fuentes naturales (pozos subterráneos o manantiales), para tratarla y hacerla apta para el consumo humano y posteriormente almacenarla en instalaciones adecuadas para su distribución a la población. Este proceso asegura el acceso a agua limpia y segura para uso doméstico, comercial e industrial.

■ **Mantenimiento a líneas de conducción**

Conjunto de actividades de manera regular para asegurar que las tuberías y sistemas que transportan agua potable desde las fuentes de abastecimiento hasta los puntos de distribución se encuentren en condiciones óptimas de funcionamiento y cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos. Por otra parte, se realizan reparaciones y reemplazos de las secciones de tuberías dañadas o desgastadas.

- **Atención a emergencias**

Conjunto de acciones y protocolos diseñados para garantizar la continuidad y la calidad del servicio de suministro de agua potable durante situaciones de crisis, desastres naturales o eventos imprevistos que puedan afectar la operación normal del OO y la disponibilidad de agua para la población. Esta atención de emergencias es esencial para asegurar que las comunidades tengan acceso a agua potable segura en todo momento, incluso en circunstancias adversas.

- **Control de medidores**

Se refiere a los procedimientos que se utilizan para gestionar y supervisar eficientemente los medidores de agua instalados en las propiedades de los usuarios. Con esto se asegura la medición precisa y confiable del consumo de agua, implica la instalación adecuada de medidores y supervisar adecuadamente para no ser objeto de fugas, fraudes o manipulaciones por parte del usuario.

- **Control de Quejas**

Proceso para gestionar de manera efectiva las quejas, reclamaciones y problemas reportados por los usuarios en relación con el suministro de agua potable y los servicios asociados. El objetivo principal del control de quejas es atender las inquietudes de los clientes de manera oportuna, resolver los problemas de manera satisfactoria y mejorar continuamente la calidad del servicio. Cada queja se registra detalladamente en un sistema de cómputo, asignando un número de seguimiento único a cada queja para facilitar su seguimiento y resolución.

- **Bacheo**

Proceso de reparación y mantenimiento de superficies pavimentadas, como calles, carreteras y aceras, que han desarrollado agujeros conocidos como "baches" provocados por las actividades del OO como lo es la instalación de tomas de agua o mantenimiento a las líneas de conducción. El objetivo del bacheo es restaurar la superficie pavimentada a un estado seguro y funcional.

## 4.2. Actividades de apoyo

- **Contabilidad**

Se refiere al proceso sistemático de registro, clasificación, análisis y resumen de las transacciones financieras y económicas del OO, Proporciona a los directivos información precisa y relevante sobre la situación financiera, el rendimiento y los flujos de efectivo del OO, lo que permite tomar decisiones informadas y evaluar la salud financiera.

- **Cuentas por pagar**

Proceso de gestionar y supervisar las obligaciones financieras pendientes del OO hacia sus proveedores y acreedores. Las cuentas por pagar son las deudas que el OO

debe pagar a otras partes por bienes y servicios recibidos, pero que aún no han sido liquidadas.

- **Control de Almacenes**

En este proceso se gestionan y supervisan las actividades relacionadas con el almacenamiento, seguimiento y distribución de los materiales y existencias del OO. El objetivo principal del control es asegurar la disponibilidad adecuada de los productos en el momento y lugar requeridos, minimizando los costos de almacenamiento y manteniendo un registro preciso de los niveles de inventario.

- **Contratación de personal**

Son las actividades y pasos que el OO sigue para identificar, reclutar, evaluar, seleccionar e incorporar nuevos empleados a sus equipos de trabajo. En proceso se eligen candidatos adecuados para los roles vacantes y para garantizar que la organización cuente con un equipo de talentos competente y comprometido.

- **Compras**

Se refiere al conjunto de pasos y procedimientos establecidos por la legislación y las regulaciones gubernamentales para adquirir bienes, servicios y suministros de manera transparente, eficiente y legal. Dado que el OO utilizan fondos públicos, las compras se realicen de manera responsable y en conformidad con los principios de competencia, equidad y transparencia. Para ello se asigna un presupuesto para las compras, asegurando que los gastos estén dentro de los límites establecidos y que se respete la disponibilidad de fondos.

- **Pago de nóminas**

Son las actividades que el OO realiza para calcular, procesar y distribuir los salarios y beneficios a sus empleados. Este proceso garantiza que los empleados reciban la compensación adecuada por su trabajo de manera precisa y oportuna. Las actividades relevantes en el proceso son: registro de asistencia y horas trabajadas, cálculo de salarios, cálculo de deducciones y retenciones, cálculo de impuestos, impresión de recibos de pago.

- **Presupuesto**

También llamado Programa Operativo Anual (POA), es el proceso de planificación, asignación, seguimiento y evaluación de los recursos financieros que serán utilizados para llevar a cabo las actividades programadas por el OO. Este proceso es importante para garantizar un uso eficiente y transparente de los fondos públicos, así como para cumplir con los objetivos y prioridades establecidos por el OO. El presupuesto es aprobado por la Junta de Gobierno del OO, esto garantiza la supervisión y el control sobre el uso de los fondos públicos, además, se realiza un seguimiento regular de los ingresos y gastos para asegurarse de que estén alineados con el presupuesto aprobado

a través de auditorías internas o externas las cuales evalúan la eficiencia, eficacia y transparencia en el uso de los fondos públicos.

- **Control del parque vehicular**

Son las medidas, políticas y procedimientos implementados para regular y supervisar la circulación y el uso de vehículos de un OO, ya que por tratarse de recursos públicos debe existir un uso racional y transparente de las unidades. los vehículos son registrados y se controlan aspectos como el pago de tenencias el uso de combustibles, seguros, infracciones y mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

# CAPÍTULO 5

## ALGORITMO PARA LA CREACIÓN DE REDES DE PETRI A PARTIR DE UN PROCESO DE NEGOCIO

El objetivo central de la presente investigación es crear un algoritmo para generar Redes de Petri en función de la redacción de los procesos de negocio de un organismo operador con el fin de analizarlos y mejorarlos. El algoritmo funciona de la siguiente manera:

1. Redactar las actividades relacionadas con el proceso de negocio.
2. Generación de la representación gráfica de la red de Petri
3. Simular el tiempo de ejecución de cada actividad, seleccionando la distribución de probabilidad que se adecue al comportamiento de dichas actividades
4. Mostrar la representación matemática del proceso (matriz inicial, matriz de incidencia, vector de disparo, vector de tiempo)
5. Repetir los pasos del 1 al 4 para un segundo proceso de negocio
6. Comparar los valores del vector de tiempo del primer y segundo proceso. Esta comparación se realizará para determinar cuál de los dos procesos es mas eficiente.

### 5.1. Caso de estudio

Para el caso de estudio se han considerado dos procesos; Proceso 1 y Proceso 2, ambos se denominan de la misma manera; “Entrega del recibo de recibo de cobro”, y pretenden el

mismo objetivo: hacer llegar el recibo de cobro al usuario y registrar la lectura del medidor de agua. Para cada actividad de cada proceso se tomaron y registraron los tiempos de 126 muestras, los resultados junto con su distribución de probabilidad (necesaria para mostrar la simulación del proceso) se muestran a continuación:

### 5.1.1. Proceso 1

- Proc.1 Act.1 - El lectorista se desplaza al domicilio del usuario (Arrives at the customer home) (Tabla 5.1, Figura 5.1)
- Proc.1 Act.2 - Lee y anota la lectura del medidor (Read and write down the consumption marked on the wáter volumen meter) (Tabla 5.2, Figura 5.2)
- Proc.1 Act.3 - Entrega el recibo de cobro (Deliver the invoice) (Tabla 5.3, Figura 5.3)

### 5.1.2. Proceso 2

- Proc.2 Act.1 El lectorista se desplaza al domicilio del usuario (Arrives at the customer home) (Tabla 5.4, Figura 5.4)
- Proc.2 Act.2 Lee y anota la lectura del medidor (Read and write down the consumption marked on the wáter volumen meter) (Tabla 5.5, Figura 5.5)
- 3-El usuario descarga del sitio de internet el recibo de cobro de agua (The user download the invoice) (Tabla 5.6, Figura 5.6)

Tabla 5.1: Registro de tiempos de Actividad 1 - Proceso 1 y Tipo de distribución de probabilidad

*Fuente: Elaboración propia*

El lectorista se desplaza al domicilio del usuario								
Arrives at the customers home								
MINUTOS								
R1	39	43	48	47	41	41	40	40
R2	48	37	49	37	42	36	39	37
R3	48	46	50	43	45	36	42	41
R4	47	38	49	47	40	39	42	48
R5	46	42	40	36	40	37	39	47
R6	48	45	45	44	39	50	41	45
R7	38	45	49	43	42	43	48	39
R8	36	43	35	48	39	43	50	38
R9	45	37	45	37	47	36	50	49
R10	38	44	43	43	44	38	49	41
R11	50	39	41	41	46	49	35	41
R12	47	40	42	40	49	47	36	37
R13	37	39	36	44	41	50	48	35
R14	50	38	37	43	38	37	37	46
R15	40	48	46	43	43	39	49	48
R16	46	48	40	40	49	37		
Distribución de probabilidad								
Actividad 1 - Proceso 1								
Media:				42.587 min				2555.238 seg
Desv. Stnd.:				04.518 min				0271.133 seg
Mediana:				43.000 min				2580.000 seg
Moda:				39.000 min				2340.000 seg
Tipo de distribución: NORMAL								

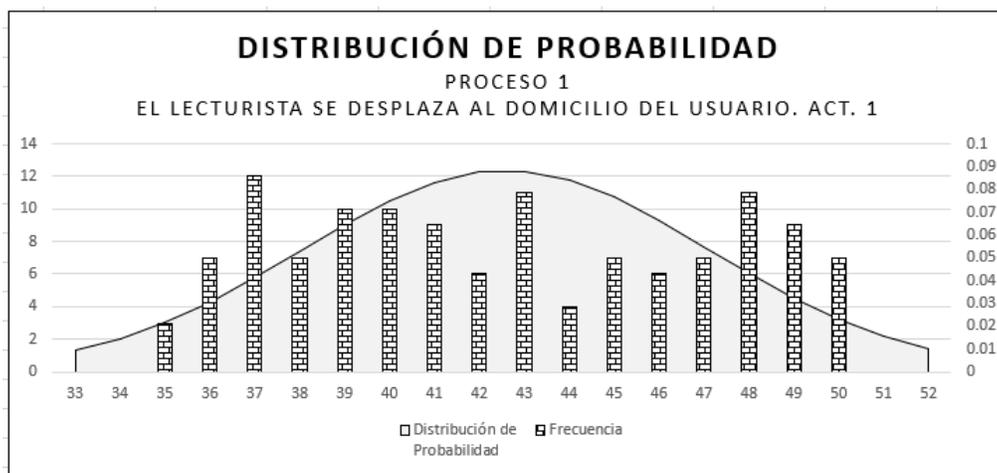


Figura 5.1: Distribución de probabilidad. Actividad 1 - Proceso 1  
 Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 5.2: Registro de tiempos de Actividad 2 - Proceso 1 y Tipo de distribución  
 Fuente: *Elaboración propia*

	Lee y anota la lectura del medidor Read and write down the consumption marked on the wáter volumen meter SEGUNDOS							
R1	31	38	32	32	38	23	38	20
R2	32	42	28	43	20	24	29	37
R3	21	30	37	44	25	42	25	22
R4	17	29	29	16	19	27	40	45
R5	30	32	41	26	35	39	45	45
R6	16	32	16	44	16	32	34	35
R7	29	37	25	44	30	44	38	45
R8	31	42	43	40	27	27	23	27
R9	45	17	21	16	27	18	44	43
R10	35	24	44	29	32	30	28	34
R11	18	42	35	44	21	35	37	15
R12	40	39	26	40	29	30	40	36

continua en la siguiente página

	viene de la página anterior							
R13	26	17	19	33	37	16	27	36
R14	36	37	38	19	32	15	36	30
R15	44	16	45	42	36	45	33	34
R16	30	30	40	29	26	29		

Distribución de probabilidad Actividad 2 - Proceso 1	
Media:	31.682 seg
Desv. Stnd.:	08.845 seg
Mediana:	32.000 seg
Moda	32.000 seg
Tipo de distribución...: NORMAL	

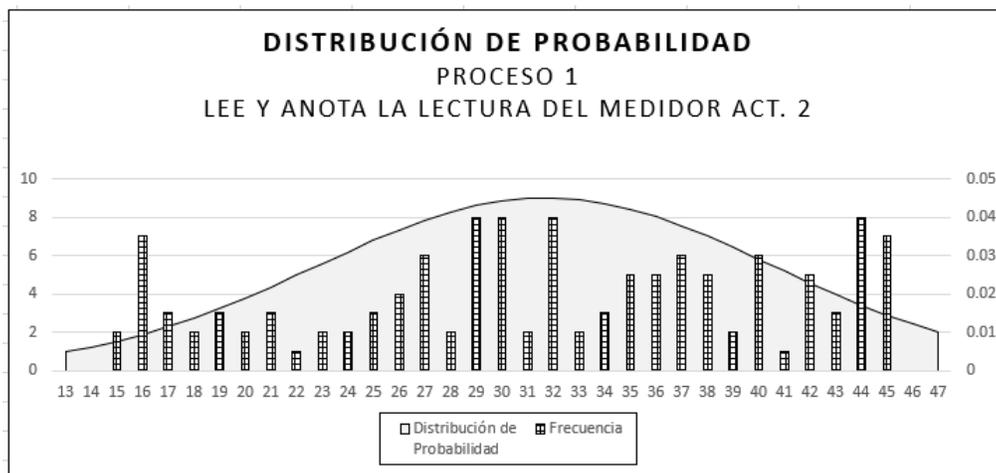


Figura 5.2: Distribución de probabilidad. Actividad 2 - Proceso 1  
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3: Registro de tiempos de Actividad 3 - Proceso 1 y Tipo de distribución de probabilidad

*Fuente: Elaboración propia*

Entrega recibo de cobro Deliver the invoice SEGUNDOS								
R1	19	17	17	19	25	24	24	10
R2	24	16	22	22	14	23	21	18
R3	15	18	20	11	21	10	22	20
R4	10	19	13	20	14	13	10	12
R5	14	25	19	11	14	22	15	17
R6	20	12	17	16	12	20	21	18
R7	24	21	13	19	16	23	25	21
R8	13	24	17	16	22	19	15	21
R9	21	24	24	18	17	25	25	24
R10	18	10	15	10	19	23	17	21
R11	17	23	22	23	23	18	13	13
R12	16	11	12	13	14	22	22	15
R13	18	13	11	24	19	13	13	10
R14	20	16	17	21	14	12	10	10
R15	17	22	18	21	24	22	13	18
R16	23	16	15	24	13	24		
Distribución de probabilidad Actividad 3 - Proceso 1								
Media:	17.809 seg							
Desv. Stnd.:	04.533 seg							
Mediana:	18.000 seg							
Moda	24.000 seg							
Tipo de distribución...: NORMAL								

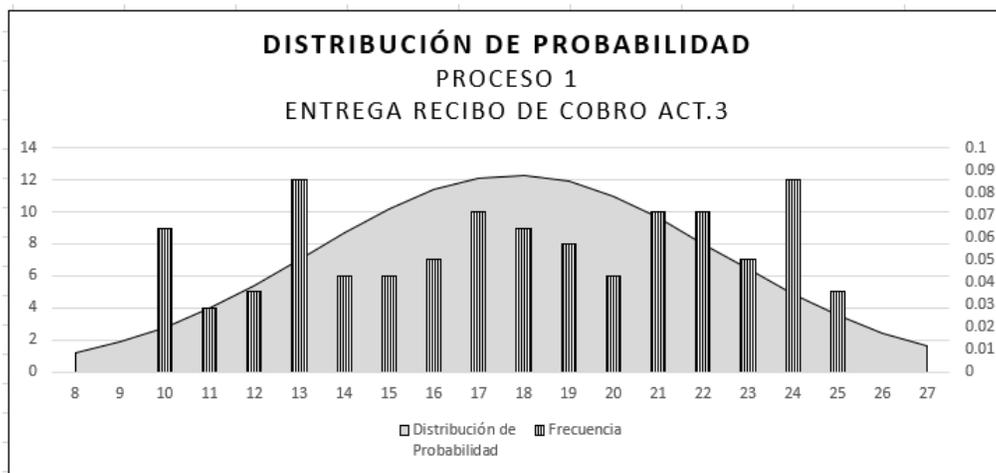


Figura 5.3: Distribución de probabilidad. Actividad 3 - Proceso 1  
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.4: Registro de tiempos de Actividad 1 - Proceso 2 y Tipo de distribución de probabilidad

Fuente: Elaboración propia

PROCESO 2								
El lectorista se desplaza al domicilio del usuario								
Arrives at the customers home								
MINUTOS								
R1	49	48	37	48	38	49	41	36
R2	49	36	43	39	35	49	45	39
R3	42	45	42	50	36	41	37	48
R4	45	40	50	46	41	45	45	37
R5	47	43	38	37	43	50	42	47
R6	48	40	46	48	46	45	42	35
R7	39	50	42	42	36	45	41	46
R8	50	44	42	35	37	38	41	40
R9	37	47	43	39	45	43	37	47
R10	41	37	42	48	47	36	45	35
R11	49	49	36	36	49	40	38	38

continua en la siguiente página

	viene de la página anterior							
R12	47	36	43	47	36	36	36	39
R13	37	49	43	40	42	44	39	40
R14	45	36	43	36	45	36	44	37
R15	45	36	36	37	42	48	35	42
R16	37	37	49	44	47	40		

<b>PROCESO 2</b>		
<b>Determinación de Distribución de probabilidad Act. 1</b>		
Media:	41.991 min	2519.523 seg
Desv. Stnd.:	04.667 min	0280.039 seg
Mediana:	42.000 min	2520.000 seg
Moda	36.000 min	2160.000 seg
Tipo de distribución.:NORMAL		

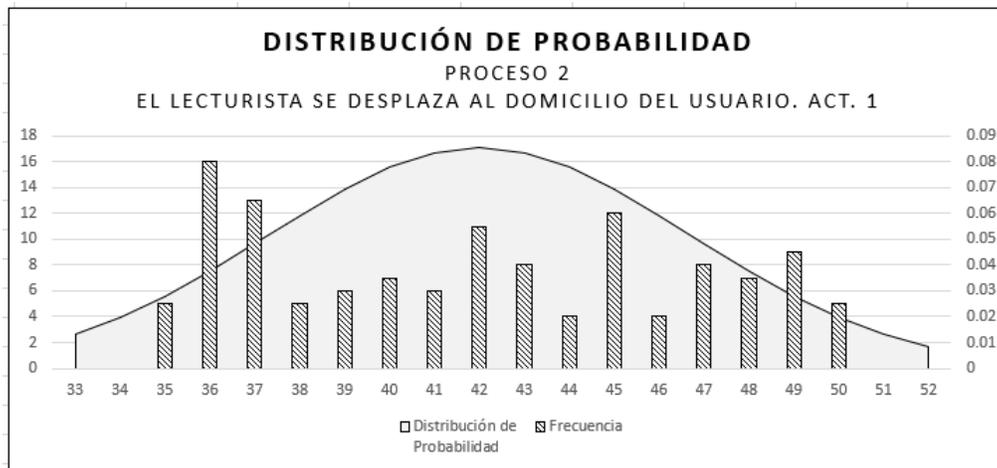


Figura 5.4: Distribución de probabilidad. Actividad 1 - Proceso 2  
 Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 5.5: Registro de tiempos de Actividad 2 - Proceso 2 y Tipo de distribución

*Fuente: Elaboración propia*

PROCESO 2 Lee y anota la lectura del medidor Read and write down the consumption marked on the wáter volumen meter SEGUNDOS								
R1	24	36	30	19	27	42	40	26
R2	29	45	21	15	39	32	34	44
R3	37	38	20	20	25	30	16	24
R4	31	38	38	20	40	21	23	45
R5	25	35	27	31	24	17	32	30
R6	23	23	18	37	38	18	30	30
R7	34	31	44	29	32	15	27	18
R8	26	39	41	17	16	37	42	33
R9	39	24	15	16	15	45	18	19
R10	43	36	22	29	20	42	35	19
R11	23	19	17	34	44	31	36	24
R12	26	21	19	33	35	17	19	37
R13	30	18	16	30	26	31	20	30
R14	44	39	28	44	39	21	43	40
R15	15	29	17	41	28	21	15	42
R16	19	42	32	20	22	36		
PROCESO 2 Distribución de probabilidad Actividad 2 - Proceso 2								
Media:	27.381 seg							
Desv. Stnd.:	09.150 seg							
Mediana:	29.000 seg							
Moda	31.000 seg							
Tipo de distribución..: NORMAL								

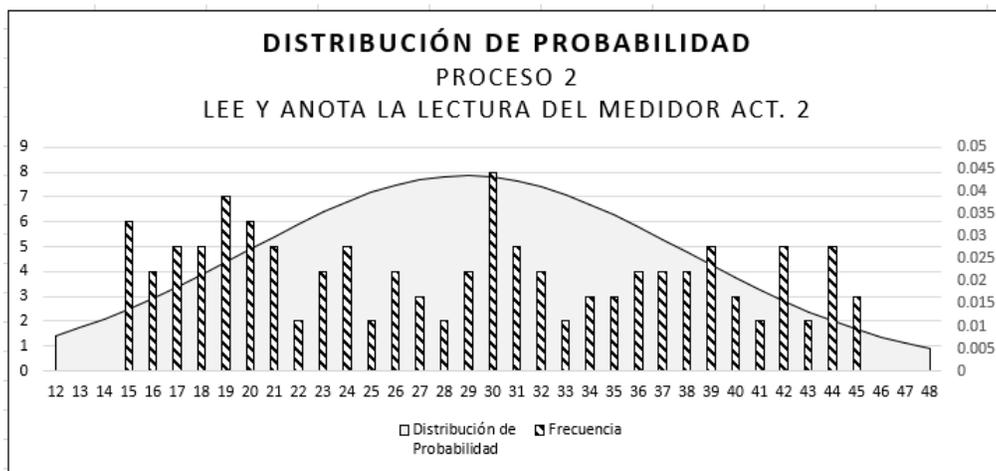


Figura 5.5: Distribución de probabilidad. Actividad 2 - Proceso 2  
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.6: Registro de tiempos de actividad 3 - Proceso 2 y Tipo de distribución de probabilidad

Fuente: Elaboración propia

PROCESO 2								
Descarga recibo de cobro								
Download the invoice								
SEGUNDOS								
R1	16	11	13	22	20	25	13	17
R2	22	16	11	12	19	18	10	23
R3	25	11	10	12	21	25	13	23
R4	11	21	20	25	21	24	22	16
R5	15	23	11	16	23	25	19	22
R6	12	22	24	17	21	18	10	25
R7	13	23	23	16	21	25	18	14
R8	19	17	18	20	18	21	10	10
R9	15	24	17	13	25	11	16	22
R10	24	16	18	10	17	15	12	11

continua en la siguiente página

	viene de la página anterior							
R11	25	11	18	24	17	14	14	21
R12	24	17	23	21	21	14	14	15
R13	18	10	12	22	24	10	25	22
R14	23	14	12	16	18	17	22	24
R15	16	25	25	13	23	16	19	15
R16	22	25	17	20	15	25		

<b>PROCESO 2</b>	
<b>Distribución de probabilidad</b>	
<b>Actividad 3 - Proceso 2</b>	
Media:	17.412 seg
Desv. Stnd.:	04.839 seg
Mediana:	18.000 seg
Moda	25.000 seg
Tipo de distribución...:NORMAL	

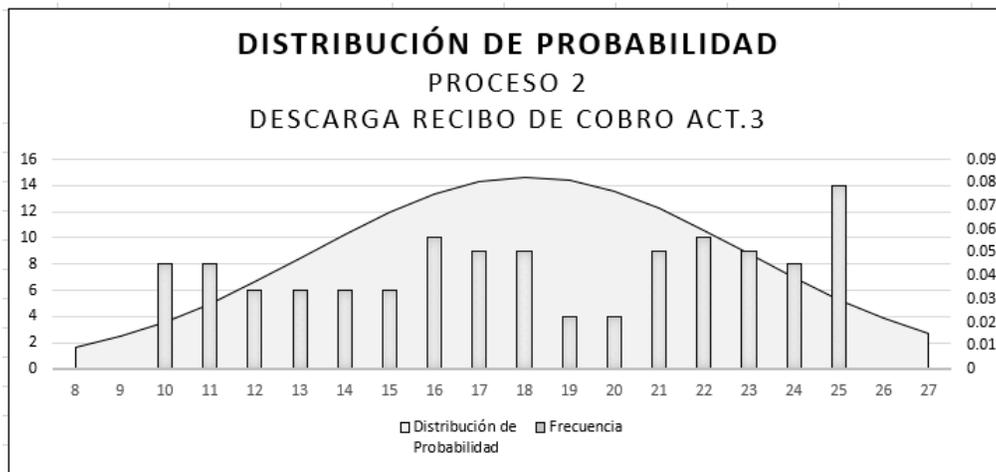


Figura 5.6: Distribución de probabilidad. Actividad 3 - Proceso 2  
*Fuente: Elaboración propia*

### 5.1.2.1. Comprobación de funcionamiento de algoritmo (Aplicación)

Para comprobar el funcionamiento del algoritmo el autor desarrolló un programa en lenguaje Python. A continuación se describen sus elementos y funcionamiento.

**Base de Datos.** La base de datos está compuesta por las siguientes entidades:

- *CAT – RPN*. Catálogo de procesos de negocios (Tabla 1)
- *TRN – RST*. Registro de la simulación de tiempos de proceso (Tabla 2)

Tabla 5.7: (*CAT – RPN*) Catálogo de Procesos de Negocios  
*Fuente: Elaboración propia*

Catálogo de Proceso de Negocios		
Campo	Tipo	Descripción
id_act	Numérico	Consecutivo de registro
tip_simbolo	Texto	Simbolo de la red de petri (plaza, transición)
des_act	Texto	Descripción de la actividad
fin_act	Texto	Conexión o fin del proceso

Tabla 5.8: (*TRN – RST*) Registro de la simulación de tiempos de proceso  
*Fuente: Elaboración propia*

Simulación de Tiempos		
Campo	Tipo	Descripción
id_numero	Numérico	numero de ciclo de simulación
actividad	Texto	Descripción de la actividad del proceso de negocio
costo	Numérico	Costo de la actividad (no utilizado para el presente algoritmo)
tiempo	Numérico	Tiempo de desarrollo de la actividad (generado por el simulador de acuerdo a la distribución de probabilidad)
Continúa en la siguiente página		

Viene de la página anterior		
tipo.distribucion	Texto	Letra inicial del tipo de distribución utilizada

La pantalla inicial de es mostrada en la figura 5.7



Figura 5.7: Pantalla inicial

*Fuente: Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9*

En la figura 5.8 se observa el menú principal del sistema. Las diferentes opciones se describen a continuación:

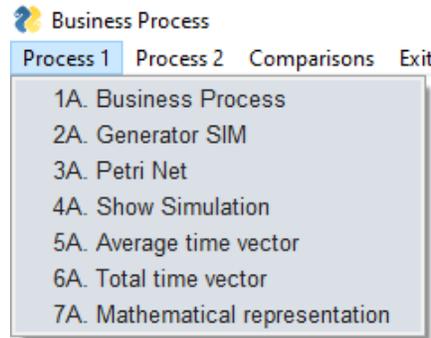


Figura 5.8: Menú Principal (Main menu)

Fuente: Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9

**Secuencia de funcionamiento:**

1. **Op.1A. Business process.** Registro en *CAT\_RPN* las actividades involucradas en el proceso de negocio, indicando en cada una de estas si se conectará a la siguiente actividad registrada, ya sea en conjunción o disyunción (Figura 5.9)

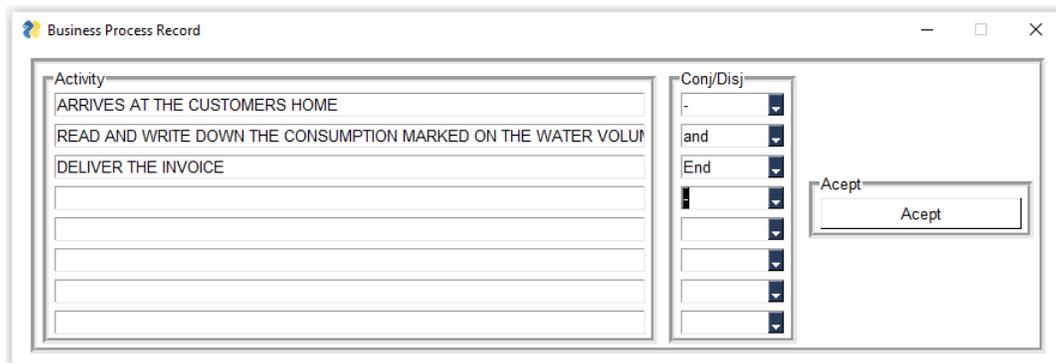


Figura 5.9: Redacción de las actividades inherentes al proceso de negocio

Fuente: Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9

id_actI	typ_simI	des_actI	end_actI
Filter	Filter	Filter	Filter
1	1 CIRC	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME	-
2	2 CIRC	READ AND WRITE DOWN THE CONSUMPTION MARKED ON THE WATER VOLUME METER	and
3	3 CIRC	DELIVER THE INVOICE	End

Figura 5.10: Datos en BD de redacción del proceso de negocio (*CAT\_RPN*)

Fuente: Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9

2. **Op.3A. Petri net.** Lellendo todos los registros de la tabla *CAT\_RPN* se determina cual de las estructuras básicas de PN se presentarán (selección de actividad a ejecutar, ejecución de actividades en paralelos, ejecución de una actividad que anteceda de dos o más procesos o sincronización de actividades en paralelo). En esta figura 5.11 se muestra la PN formada por sus diferentes plazas, transiciones y arcos. Al dar click sobre la imagen se pueden observar el movimiento de los tokens.

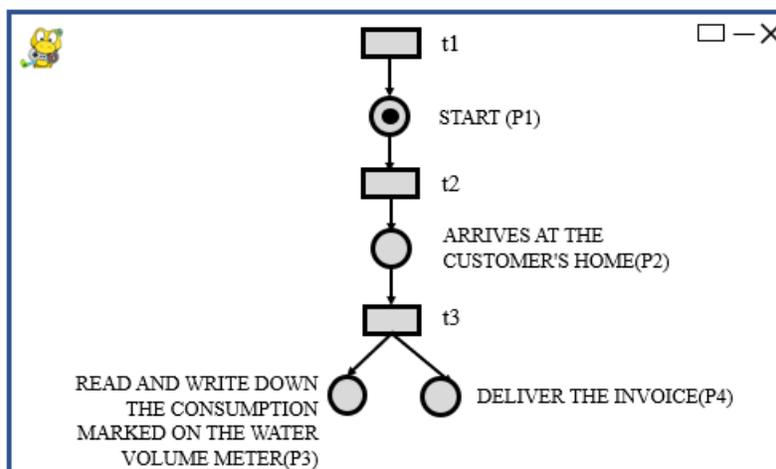


Figura 5.11: Representación del proceso de negocios con gráfico de red de Petri

*Fuente: Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9*

3. **Op.2A. Simulation of the process.** En la interfase mostrada en la figura 5.12 se selecciona el tipo de distribución de probabilidad para generar el tiempo utilizado por actividad, además de indicar la cantidad de números aleatorios que se generarán. Es importante señalar que el campo de costos no es utilizado ya que no es una variable considerada para el presente caso de estudio. La información de la simulación es registrada en *TRN – RST*, la cual se utiliza para generar la representación matemática de la PN. Sumando y promediando los tiempos de ejecución de cada una de las actividades involucradas en el proceso. En la figura 5.13 e muestra un fragmento de los datos generados (el campo "type-distribution" contiene el dat N el cual corresponde la distribución normal)

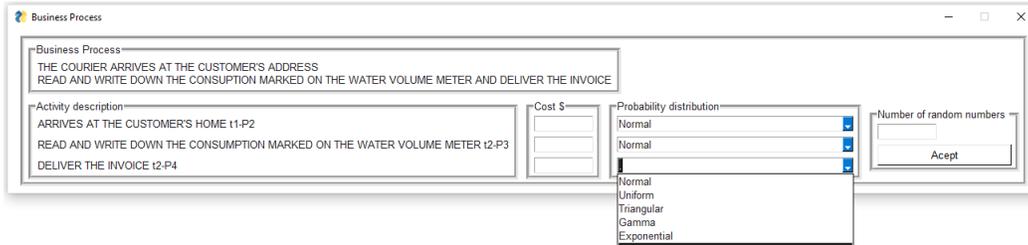


Figura 5.12: Simulación de comportamiento de actividades

Fuente: *Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9*

id_number	activity	time_one	type_distribution
Filter	Filter	Filter	Filter
0	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2362.88806042458	N
1	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2909.30674037507	N
2	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2315.95542481996	N
3	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2636.99379701436	N
4	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2459.43188148799	N
5	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2410.20345977778	N
6	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2132.67391031874	N
7	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2617.91533013752	N
8	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2435.43858874414	N
9	ARRIVES AT THE CUSTOMER'S HOME t1-P2	2807.82072355861	N
0	READ AND WRITE DOWN THE CONSUMPTION ...	33.44547817609	N
1	READ AND WRITE DOWN THE CONSUMPTION ...	24.9088215742963	N
2	READ AND WRITE DOWN THE CONSUMPTION ...	27.2862443355666	N
3	READ AND WRITE DOWN THE CONSUMPTION ...	20.7226424100366	N

Figura 5.13: Fragmento de los datos generados por el proceso de simulación

Fuente: *Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9*

4. **Op.7A. Mathematical Representation** Al dar click en esta opción se muestra en pantalla las matrices Inicial y de Incidencia, Vector de disparo, Vector de tipo y Vector de tiempo promedio. Oprimiendo botón de disparo se muestra la PN con el movimiento del token y mostrando los valores de los tiempos en ese instante y el promedio generado vea la figura. 5.14.

El algoritmo descrito cuenta con una funcionalidad adicional consistente en la medición del desempeño del proceso de negocio, dicha funcionalidad está basada en la suma los

tiempos de cada actividad obteniendo el tiempo total del proceso, lo que proporciona información para la toma de decisiones.

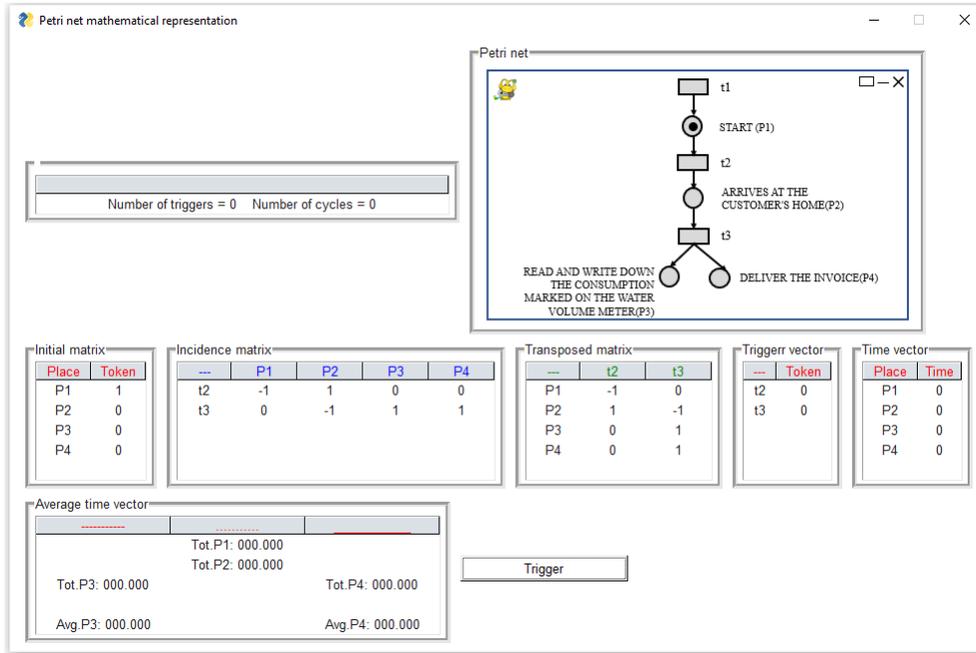


Figura 5.14: Representación matemática de la PN  
 Fuente: Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9

- Comparison of processes.** La PN se obtiene a partir de la descripción del proceso, siendo posible hacer  $n$  replanteamientos del mismo proceso ya sea modificando la secuencia de las actividades o estableciendo actividades diferentes que cumplan el mismo objetivo; medir el desempeño de cada "proceso planteado" permitirá seleccionar el mejor y con ello realizar los cambios necesarios en la organización. En la figura 5.15 se observa la PN de un proceso de negocio diferente al planteado en la figura 5.11 pero que en esencia cumple con el mismo objetivo, la diferencia radica en que en el primer planteamiento el lectorista entrega el recibo de pago al usuario y en el segundo es el usuario quien descarga el recibo o acude al organismo operador a solicitarlo. En la figura 5.16 se muestra la representación matemática del segundo proceso.

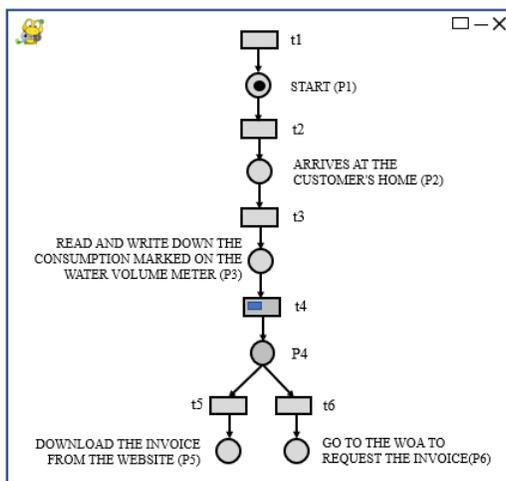


Figura 5.15: Representación del proceso de negocio modificado con PN (Proceso 2)  
*Fuente: Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9*

Modelación de Procesos de Negocios utilizando redes de Petri  
 Caso: Organismo operador de agua

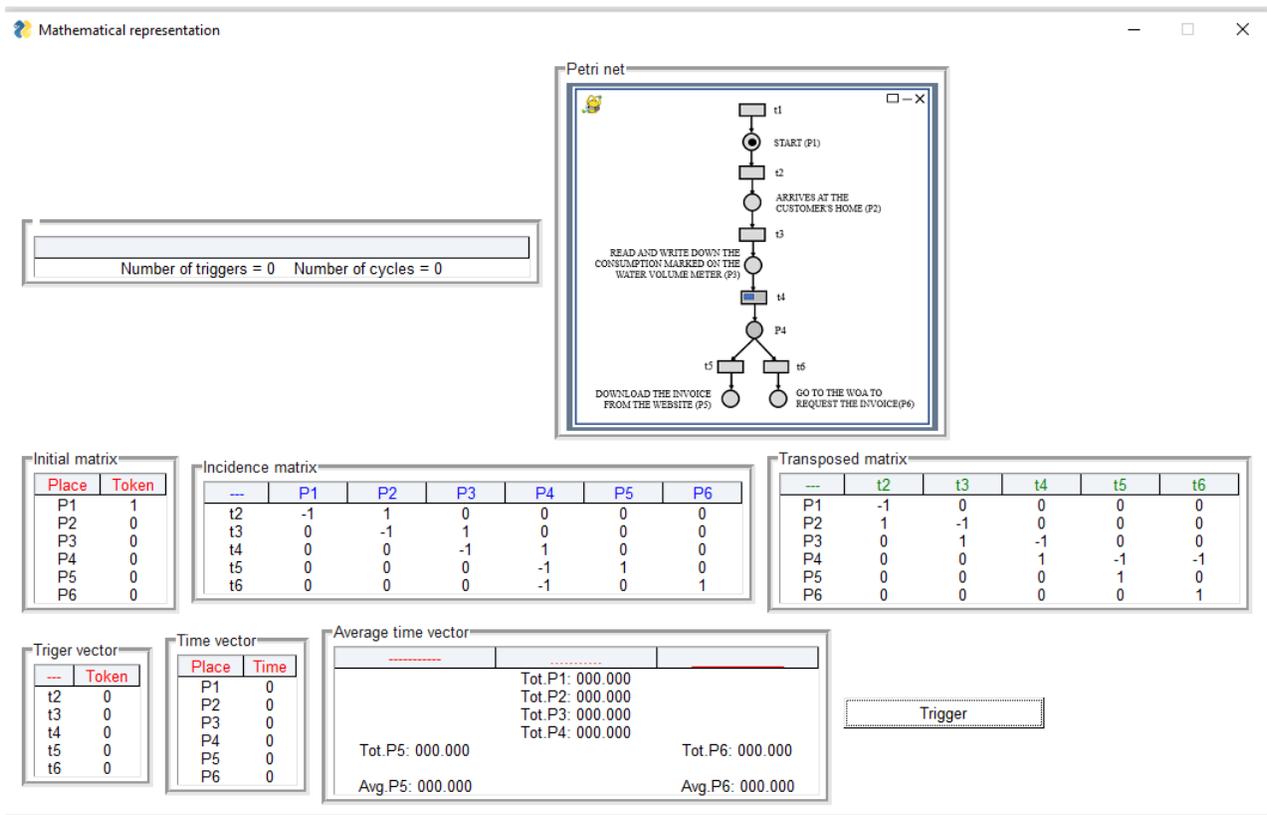


Figura 5.16: Representación matemática del segundo proceso con PN

Fuente: *Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9*

6. **Comparison of Process 1 vs. Process 2.** Figure 5.17 se observa las matrices de los tiempos promedio del proceso 1 y del proceso 2. De acuerdo con los tiempos simulados el **process 2, in place 5 is more efficient**

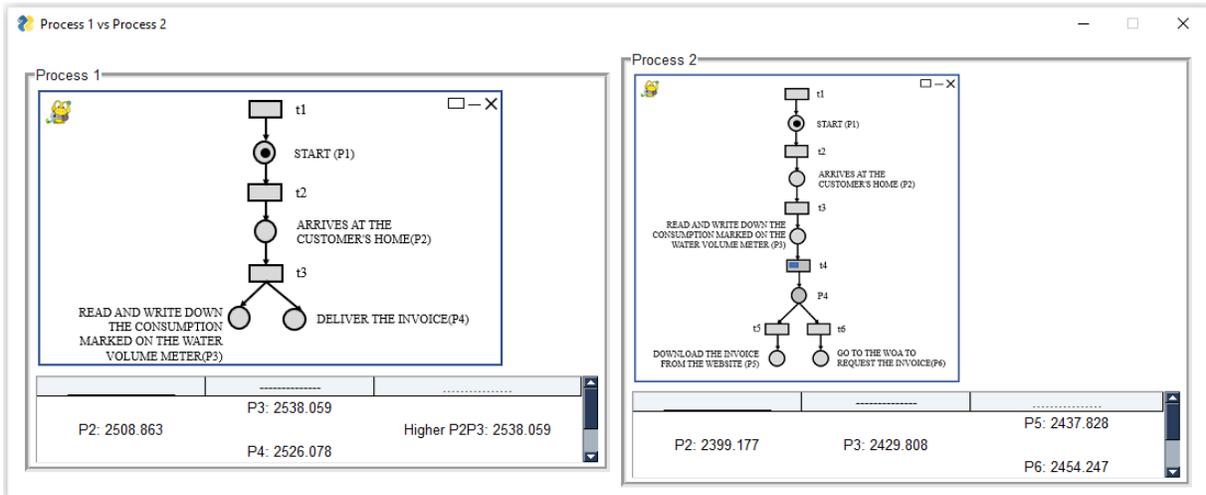


Figura 5.17: Comparación entre procesos 1 y 2  
Fuente: Elaboración propia con base en Python ver. 3.7.9

## 5.2. Resultados

El modelado de BP es un área de estudio donde es posible aplicar las PN para realizar el análisis de procesos organizacionales. Los resultados del presente trabajo de investigación se enumeran a continuación.

1. Se describió un algoritmo de modelado de procesos de negocio, utilizando redes de Petri para la esquematización de procesos.
2. Se describió el concepto de estructuras básicas de redes de Petri, que se utilizó para delinear el flujo de actividades de los procesos de negocios como un conjunto de lugares, transiciones y arcos.
3. Se desarrolla una plataforma de software para:
  - Demostrar la funcionalidad del algoritmo propuesto, basándose en información sobre un proceso de negocio de una empresa de servicios públicos.
  - Registrar en una base de datos la descripción de las actividades de un proceso de negocio. Se registraron dos procesos de negocio, donde ambos cumplen con el mismo objetivo a través de diferentes disposiciones de actividades.

- Mostrar el gráfico de PN simulando el movimiento de los tokens.
  - Simular el comportamiento de las actividades de los procesos de negocio. Para el presente estudio se eligió el factor “tiempo” (cuánto tiempo tarda en ejecutarse cada actividad), seleccionando la distribución de probabilidad que mejor se adapta
  - Mostrar la representación matemática de la PN según los datos generados en la simulación, de esta manera, se puede medir el desempeño del proceso de negocio.
  - Mostrar matemáticamente el comportamiento de los dos procesos simulados para determinar cuál funciona mejor.
4. Comparada con ProM y Disco, la aplicación propuesta en este documento tiene una curva de aprendizaje mas plana, ya que los conceptos manejados se reducen a:
- a)* Registrar el tiempo de una muestra que ocupa las actividades relacionadas con un **proceso-1** (en cualquier base de datos u hoja de cálculo) con un objetivo *X*. Para posteriormente determinar la distribución de probabilidad (Anexo 1). A continuación simular el **proceso-1** en la aplicación propuesta.
  - b)* Registra el tiempo de una muestra que ocupa las actividades relacionadas con un **proceso-2** (en cualquier base de datos u hoja de cálculo) con el mismo objetivo *X*. Para posteriormente determinar la distribución de probabilidad (Anexo 1). A continuación Simular el **proceso-2** en la aplicación propuesta.
  - c)* Una vez ejecutadas las respectivas simulaciones, se comparan los tiempos de la simulación 1 y la simulación 2 y se determina cuál es mejor.
  - d)* No es necesario capturar los tiempos de las actividades ni importarlos a la base de datos de la aplicación. La única actividad necesaria es indicar cuál es la distribución de probabilidad con sus parámetros necesarios.

# CAPÍTULO 6

## CONCLUSIONES

Las redes de Petri se destacan como una herramienta de modelado que elimina la subjetividad gracias a su estrecha vinculación con principios matemáticos. Esta característica fundamental permite su generación mediante el uso de lenguajes de programación, garantizando así un enfoque preciso en el proceso de construcción.

El valor que esta investigación aporta a las organizaciones radica en su capacidad para exponer el rendimiento de dos o más procesos de negocio. Esto posibilita su mejora, logrando una mayor eficiencia, eficacia y flexibilidad, así como la reducción de costos, la mejora de la calidad y la disminución de los tiempos de ejecución.

Las investigaciones futuras pueden abordar diversas áreas:

- Desarrollo de Aplicaciones Móviles para la Generación de PN:
  - Explorar técnicas innovadoras para la creación de aplicaciones móviles que faciliten la generación de Redes de Petri (PN) de manera intuitiva y eficiente.
  - Investigar la integración de características de realidad aumentada o virtual para mejorar la visualización y comprensión de las estructuras de PN.
- Modelado de Interacciones en Sistemas de Internet de las Cosas (IoT):
  - Investigar y desarrollar modelos avanzados para representar las complejas interacciones en sistemas de IoT.

Estas direcciones de investigación buscan no solo ampliar el conocimiento teórico, sino también aplicar conceptos de manera práctica, promoviendo la adopción de tecnologías emergentes en el ámbito educativo y en el desarrollo de soluciones para sistemas complejos.

# REFERENCIAS

- [1] Software AG. Event-driven process chain (epc). <https://ariscommunity.com/event-driven-process-chain>, 2023.
- [2] H Aguirre. Minería de procesos: fundamentos y metodología de aplicación, 2016.
- [3] Hasan Al Jafa et al. Improving erp software selection process by integrating qfd with ahp approach. *Network Intelligence Studies*, 8(16):157–167, 2020.
- [4] Jim Arlow and Ila Neustadt. *UML 2 and the unified process: practical object-oriented analysis and design*. Pearson Education, 2005.
- [5] Virendra Ashiwal, Antonio M Gutierrez, and Alois Zoitl. Implementing a plc-service bus with iec 61499. In *2022 IEEE 5th International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, pages 01–07. IEEE, 2022.
- [6] Krassimir Atanassov. Generalized nets as a tool for the modelling of data mining processes. *Innovative Issues in Intelligent Systems*, pages 161–215, 2016.
- [7] Mohammad Baghbani. Idef0 modeling standard: a tool for process map drawing under requirements of iso 9001: 2015: a case study. *Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production*, 8(4):57–66, 2019.
- [8] Iris Beerepoot, Claudio Di Ciccio, Hajo A Reijers, Stefanie Rinderle-Ma, Wasana Bandara, Andrea Burattin, Diego Calvanese, Tianwa Chen, Izack Cohen, Benoît Depaire, et al. The biggest business process management problems to solve before we die. *Computers in Industry*, 146:103837, 2023.
- [9] L Bilousova, L Gryzun, and I Sivochka. Petri nets android application as a mobile aid for students’ mastering modelling. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1840, page 012033. IOP Publishing, 2021.
- [10] Mario GCA Cimino and Gigliola Vaglini. An interval-valued approach to business process simulation based on genetic algorithms and the bpmn. *Information*, 5(2):319–356, 2014.

- [11] Jatuporn Deesukying and Wiwat Vatanawood. Generating of business rules for coloured petri nets. In *2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [12] Yang Dong and Zhang ShenSheng. Using/spl pi/-calculus to formalize uml activity diagram for business process modeling. In *10th IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems, 2003. Proceedings.*, pages 47–54. IEEE, 2003.
- [13] Jeffrey H Dyer and Harbir Singh. The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. *Academy of management review*, 23(4):660–679, 1998.
- [14] Fluxicon. Fluxicon. process mining for professionals. <https://fluxicon.com/disco/>, 2023.
- [15] Lidia Fuentes and Antonio Vallecillo. Una introducción a los perfiles uml. *Novática*, 168:6–11, 2004.
- [16] Luis Aníbal Mora García. *Gestión logística integral-2da edición: Las mejores prácticas en la cadena de abastecimiento*. Ecoe Ediciones, 2016.
- [17] André Filipe Domingos Gomes, Cristina Wanzeller, and Joana Fialho. Comparative analysis of process mining tools. 2021.
- [18] Christian W Günther and Anne Rozinat. Disco: Discover your processes. *BPM (Demos)*, 940(1):40–44, 2012.
- [19] Scott Hamilton. *Maximizing your ERP system: a practical guide for managers*. McGraw Hill Professional, 2003.
- [20] Howard J Harris and Sungmin Park. Groupware calendar systems (gcs) modelling in a virtual environment: Using role activity diagram (rad). In *ICWI*, pages 560–563, 2002.
- [21] ISO. Norma internacional. iso-9001. [http://www.congresoson.gob.mx:81/Content/ISO/documentos/ISO9001\\_2015.pdf](http://www.congresoson.gob.mx:81/Content/ISO/documentos/ISO9001_2015.pdf), Septiembre 2015.
- [22] Anna A Kalenkova, Massimiliano De Leoni, and Wil MP Van Der Aalst. Discovering, analyzing and enhancing bpmn models using prom. In *12th International Conference on Business Process Management, BPM 2014*, pages 36–41. CEUR-WS. org, 2014.
- [23] Elizabeth A Killick and Mark D Griffiths. Why do individuals engage in in-play sports betting? a qualitative interview study. *Journal of Gambling Studies*, 37(1):221–240, 2021.

- [24] Wen-Tin Lee, Shang-Pin Ma, Shin-Jie Lee, Po-Jen Law, and Ting-Shao Chang. Extending the multiple domain matrix by using business process model and notation for business process analysis. In *2015 IEEE 12th International Conference on e-Business Engineering*, pages 311–318. IEEE, 2015.
- [25] Richard I Levin and David S Rubin. *Statistics for management*. Prentice Hall, 1991.
- [26] Lucichart. Símbolos de diagramas de flujo de datos. <https://www.lucidchart.com/pages/es/simbolos-de-diagramas-de-flujo-de-datos>, 2023.
- [27] Jaime Solís Martínez, Natalia García Menéndez, Begoña Cristina Pelayo García Bustelo, and Juan Manuel Cueva Lovelle. Bplom: Bpm level-oriented methodology for incremental business process modeling and code generation on mobile platforms. *IJIMAI*, 2(2):13–27, 2013.
- [28] Jan Mendling and Jan Mendling. Event-driven process chains (epc). *Metrics for process models: Empirical foundations of verification, error prediction, and guidelines for correctness*, pages 17–57, 2008.
- [29] Tadao Murata. Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, 77(4):541–580, 1989.
- [30] Gobierno México. Portal interactivo de gestión del agua. <https://agua.org.mx/>, Junio 2021.
- [31] Michael E Porter. *Competitive advantage of nations: creating and sustaining superior performance*. simon and schuster, 2011.
- [32] Jianglong Qin, Na Zhao, Zhongwen Xie, and Qi Mo. Business process analysis method based on petri nets. In *2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, pages 218–223. IEEE, 2017.
- [33] Hajo A Reijers. Business process management: The evolution of a discipline. *Computers in Industry*, 126:103404, 2021.
- [34] Óscar Rafael Silva Ferreira Ribeiro and João M Fernandes. Some rules to transform sequence diagrams into coloured petri nets. 2006.
- [35] August-Wilhelm Scheer. Aris. In *Handbook on architectures of information systems*, pages 541–565. Springer, 1998.
- [36] Konstantinos Sintoris and Kostas Vergidis. Extracting business process models using natural language processing (nlp) techniques. In *2017 IEEE 19th conference on business informatics (CBI)*, volume 1, pages 135–139. IEEE, 2017.

- [37] Eswar Sivaraman and Manjunath Kamath. On the use of petri nets for business process modeling. In *IIE Annual Conference. Proceedings*, page 1. Citeseer, 2002.
- [38] Brent Thal, Bill Olson, and Paul Blessner. A robust system maturity model for complex systems utilizing system readiness level and petri nets. *Complex & Intelligent Systems*, 4:241–250, 2018.
- [39] Wil MP van der Aalst. Business process management as the “killer app” for petri nets. *Software & Systems Modeling*, 14(2):685–691, 2015.
- [40] Wil MP van der Aalst and Josep Carmona. *Process mining handbook*. Springer Nature, 2022.
- [41] Wil MP Van der Aalst, Boudewijn F van Dongen, Christian W Günther, Anne Rozinat, HMW Verbeek, and AJMM Weijters. Prom: The process mining toolkit. In *Proceedings of the BPM 2009 Demonstration Track (BPM Demos 2009, Ulm, Germany, September 8, 2009)*, pages 1–4. CEUR-WS. org, 2009.
- [42] Boudewijn F van Dongen and Wil MP Van der Aalst. A meta model for process mining data. *EMOI-INTEROP*, 160:30, 2005.
- [43] Kees M van Hee, Natalia Sidorova, and Jan Martijn van der Werf. Business process modeling using petri nets. In *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency VII*, pages 116–161. Springer, 2013.
- [44] Seppe Vanden Broucke, Jan Vanthienen, and Bart Baesens. Straightforward petri net-based event log generation in prom. *Available at SSRN 2489051*, 2014.
- [45] HMW Verbeek, JCAM Buijs, BF Van Dongen, and Wil MP van der Aalst. Prom 6: The process mining toolkit. *Proc. of BPM Demonstration Track*, 615:34–39, 2010.
- [46] Kostas Vergidis, Ashutosh Tiwari, and Basim Majeed. Business process analysis and optimization: Beyond reengineering. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 38(1):69–82, 2007.
- [47] Xu Wang, Xuan Zhang, Tong Li, Junhui Liu, and Qingyi Chen. Correctness of aspect-oriented business process modeling. *Business Process Management Journal*, 2018.
- [48] Stephen A White. Introduction to bpmn. *Ibm Cooperation*, 2(0):0, 2004.
- [49] Qing Yao, Jing Zhang, and Haiyang Wang. Business process-oriented software architecture for supporting business process change. In *2008 International Symposium on Electronic Commerce and Security*, pages 690–694. IEEE, 2008.

- [50] Elvira A Zamora. Value chain analysis: A brief review. *Asian Journal of Innovation and Policy*, 5(2):116–128, 2016.
- [51] MengChu Zhou and Naiqi Wu. *System modeling and control with resource-oriented Petri nets*, volume 35. Crc Press, 2018.

# APÉNDICE 1. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Definición de Distribución de probabilidad

*-Describe la forma en que se espera que varíen los resultados. Debido a que estas distribuciones sobre expectativas de que algo suceda, resultan ser modelos útiles para hacer inferencias y tomar decisiones en condiciones de incertidumbre.*

*- Función matemática que describe cómo se distribuyen los posibles valores de una variable aleatoria en un conjunto de resultados posibles. En otras palabras, muestra las probabilidades asociadas con diferentes valores que una variable aleatoria puede tomar en un experimento o fenómeno dado (sic) [25].*

## Tipos de distribuciones de probabilidad

Levin & Rubin [25] describen Algunos tipos de distribuciones de probabilidad, los cuales se mencionan a continuación.

**Distribución Normal (Gaussiana):** También conocida como campana de Gauss, es ampliamente utilizada debido al teorema del límite central. Se utiliza para modelar datos continuos y simétricos alrededor de su media.

Para considerar que una muestra de números aleatorios sigue una distribución normal, debe contar con algunas de las siguientes características:

- **Simetría:** En una distribución normal, la curva de densidad de probabilidad es simétrica alrededor de su media. Esto significa que los valores por encima de la media son igualmente simétricos a los valores por debajo de la media.
- **Media, Mediana y Moda coinciden:** En una distribución normal, la media, mediana y moda son iguales y se encuentran en el centro de la distribución. Esto contribuye a la

simetría de la distribución.

- Forma de Campana: La forma de la distribución normal se asemeja a una campana suave y continua.

**Distribución Uniforme:** Se utiliza para modelar eventos igualmente probables en un rango continuo. Todos los valores dentro del rango tienen la misma probabilidad de ocurrir.

Para considerar que una muestra de números aleatorios sigue una distribución uniforme, debe contar con algunas de las siguientes características:

- Igualdad de Probabilidad: Todos los valores en el rango tienen la misma probabilidad de ocurrir. Esto significa que no hay sesgo hacia ningún valor específico.
- Rango Definido: La distribución uniforme está definida en un rango específico. Todos los valores posibles dentro de este rango tienen la misma probabilidad.
- Regla del Valor Medio: En una distribución uniforme, el valor medio (promedio) de la distribución es igual a la suma de los extremos del intervalo dividida por 2. Es decir, si  $a$  y  $b$  son los extremos del intervalo, entonces el valor medio es  $(a+b)/2$ .
- Transformaciones Lineales: Si se toma una variable aleatoria que sigue una distribución uniforme y se aplica una transformación lineal (por ejemplo, multiplicación y adición), el resultado sigue siendo una distribución uniforme en el nuevo rango.

**Distribución Triangular:** Modela variables aleatorias cuyos valores están restringidos a un intervalo específico y cuya distribución es aproximadamente triangular en forma. Esta distribución es a menudo utilizada en situaciones donde hay una falta de datos.

Para considerar que una muestra de números aleatorios sigue una distribución triangular, debe contar con algunas de las siguientes características:

- Forma Triangular: La distribución triangular se caracteriza por tener una forma triangular en su gráfica de densidad de probabilidad. Esto significa que la densidad de probabilidad es máxima en un punto dentro de un intervalo y disminuye linealmente hacia los extremos del intervalo.
- Valor Mínimo, Máximo y Moda Definidos: En una distribución triangular, se deben definir tres parámetros principales: el valor mínimo ( $a$ ), el valor máximo ( $b$ ) y la moda ( $c$ ). Estos parámetros determinan la forma y el rango de la distribución.

- **Simetría Opcional:** La distribución triangular puede ser simétrica o asimétrica, dependiendo de la ubicación de la moda ( $c$ ) en relación con el intervalo  $[\min, \max]$ . Si  $c$  está en el centro del intervalo, la distribución será simétrica. Si  $c$  está más cerca de uno de los extremos, la distribución será asimétrica.

**Distribución Gamma:** Es una generalización de la distribución exponencial y se usa para modelar tiempos de espera más generales.

Para considerar que una muestra de números aleatorios sigue una distribución gamma, debe contar con algunas de las siguientes características:

- **Forma de la Distribución Gamma:** La distribución gamma es una distribución de probabilidad continua que generalmente se utiliza para modelar el tiempo entre eventos en procesos de Poisson o para describir tiempos de espera. Tiene una forma que puede ser asimétrica y varía en función de los parámetros de la distribución.
- **Parámetros de la Distribución Gamma:** La distribución gamma se define mediante dos parámetros: el parámetro de forma ( $\kappa$ ) y el parámetro de escala ( $\theta$ ). Estos parámetros controlan la forma y escala de la distribución. El parámetro de forma determina la forma de la curva (mayor valor de  $\kappa$  produce una distribución más sesgada hacia la derecha), mientras que el parámetro de escala ajusta la escala de los valores.
- **Función de Densidad de Probabilidad Definida:** La función de densidad de probabilidad (FDP) de la distribución gamma se define en función de los parámetros  $\kappa$  y  $\theta$ , y es una función matemática que describe la probabilidad de que una variable aleatoria tome un valor en un intervalo específico.
- **Valores Positivos:** La distribución gamma se define solo para valores positivos. Esto se debe a la naturaleza de su aplicación, ya que generalmente se utiliza para modelar tiempos o tasas de eventos.
- **Independencia:** Los valores en una muestra que sigue una distribución gamma son independientes entre sí. Esto significa que la ocurrencia de un valor no afecta la ocurrencia de otros valores.
- **Aplicaciones en Procesos de Espera:** La distribución gamma es útil para modelar el tiempo entre eventos en situaciones en las que los eventos ocurren en un proceso de Poisson, como el tiempo entre llamadas telefónicas, llegadas a una cola, tiempo entre fallas de equipos, entre otros.

**Distribución Exponencial:** Modela el tiempo entre eventos en un proceso de Poisson, como el tiempo entre fallos en un sistema.

Para considerar que una muestra de números aleatorios sigue una distribución exponencial, debe contar con algunas de las siguientes características:

- Modelo de Proceso de Espera: La distribución exponencial se utiliza comúnmente para modelar el tiempo entre eventos en un proceso de Poisson. Por lo tanto, es especialmente aplicable para modelar eventos que ocurren de manera independiente a una tasa constante.
- Decaimiento Exponencial: La función de densidad de probabilidad (FDP) de la distribución exponencial tiene una forma de decaimiento exponencial. Esto significa que la probabilidad de que ocurra un evento en un intervalo dado disminuye exponencialmente a medida que se avanza en el tiempo.
- Parámetro de Tasa: La distribución exponencial se define mediante un único parámetro, a menudo denotado como  $\lambda$  (lambda), que representa la tasa media de ocurrencia de los eventos. El valor inverso de  $\lambda$  se conoce como el parámetro de escala ( $\beta = 1/\lambda$ ).
- Valores Positivos: Al igual que con otras distribuciones relacionadas con el tiempo, la distribución exponencial está definida solo para valores positivos, ya que está diseñada para modelar tiempos de espera entre eventos.
- Independencia: Los tiempos entre eventos en una distribución exponencial son independientes. La ocurrencia de un evento no afecta la ocurrencia de futuros eventos.
- Ausencia de Memoria: Ausencia de memoria, esto significa que la probabilidad de que ocurra un evento en un intervalo futuro no depende de cuánto tiempo ha transcurrido desde el último evento. En otras palabras, la distribución exponencial no tiene "memoria" de eventos pasados.