



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS  
COMPUTACIONALES**

**PROPUESTA PRÁCTICA DEL EXAMEN DE GRADO O DE FIN DE  
CARRERA (DE CARÁCTER COMPLEXIVO)  
INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL**

**TEMA: ESTUDIO DE LAS REDES DE PETRI EN EL MODELADO Y  
SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS**

**Autor:** TORRES POLONIO ALEX DARIO

**Acompañante:** MGTI. JORGE VINUEZA-MARTÍNEZ

**Milagro, Mayo 2018**

**ECUADOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.  
Fabricio Guevara Viejo, PhD.  
**RECTOR**  
**Universidad Estatal de Milagro**  
Presente.

Yo, **TORRES POLONIO ALEX DARIO** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la propuesta práctica de la alternativa de Titulación – Examen Complexivo: Investigación Documental, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor de la propuesta practica realizado como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Temática **“ESTUDIO DE LAS REDES DE PETRI EN EL MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS”** del Grupo de Investigación **REDES DE PETRI EN LA INGENIERÍA DE SOFTWARE** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de esta propuesta practica en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, a los 04 días del mes de mayo de 2018



Firma del Estudiante  
Nombre: TORRES POLONIO ALEX DARIO  
Ci: 0929741338

## APROBACIÓN DEL TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Yo, **JORGE VINUEZA MARTÍNEZ** en mi calidad de tutor de la Investigación Documental como Propuesta práctica del Examen de grado o de fin de carrera (de carácter complejo), elaborado por el estudiante **TORRES POLONIO ALEX DARIO**, cuyo título es ESTUDIO DE LAS REDES DE PETRI EN EL MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS, que aporta a la Línea de Investigación CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO DE SOFTWARE, METODOLOGÍAS Y PLATAFORMAS previo a la obtención del Grado de **INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Examen de grado o de fin de carrera (de carácter complejo) de la Universidad Estatal de Milagro.

En la ciudad de Milagro, a los 06 días del mes de mayo de 2017.



MGTI. JORGE VINUEZA-MARTÍNEZ

**Tutor**

C.I.:0916860588

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por: **VINUEZA MARTÍNEZ JORGE LUIS, CORREA PERALTA MIRELLA AZUCENA, MENDOZA CABRERA DENIS DARIO.**

Luego de realizar la revisión de la Investigación Documental como propuesta practica, previo a la obtención del título (o grado académico) de **Ingeniería en Sistemas computacionales** presentado por el señor **TORRES POLONIO ALEX DARIO.**

Con el título:

**ESTUDIO DE LAS REDES DE PETRI EN EL MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS.**

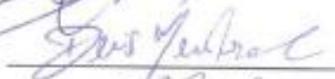
Otorga a la presente Investigación Documental como propuesta práctica, las siguientes calificaciones:

Investigación documental	[ 80 ]
Defensa oral	[ 20 ]
Total	[ 100 ]

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado) APROBADO

Fecha: 28 de mayo del 2018.

Para constancia de lo actuado firman:

Nombres y Apellidos	Firma
Presidente <b>JORGE LUIS VINUEZA MARTINEZ</b>	
Secretario <b>DENIS DARIO MENDOZA CABRERA</b>	
Integrante <b>MIRELLA AZUCENA CORREA PERALTA</b>	

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme permitido alcanzar un objetivo más en mi vida brindándome su infinita bondad, amor y misericordia. A mis padres que fueron pilar fundamental de ejemplo y superación. A mi amada esposa Mercedes Chávez por su sacrificio y esfuerzo dado en los momentos de mi ausencia. A mi amado hijo Emiliano Torres por ser mi fuente de motivación e inspiración para poderme superar cada día más. A mis hermanos que siempre me llenaron de buenos consejos para salir adelante convirtiéndose en un ejemplo para mí.

***Alex Dario Torres Polonio***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Dios padre todo poderoso por permitirme llegar hasta donde me eh propuesto en las diferentes etapas de mi vida. A mis docentes por haberme brindado e impartido sus conocimientos de la mejor manera, dejando sus enseñanzas implantadas en mi memoria. A mis compañeros de trabajo que con su colaboración y apoyo me permitieron seguir adelante en mis estudios, tal vez para ellos solo era una guardia más en la que me daban la mano y para mis superiores un permiso más, pero para mí siempre era una materia más un semestre más.

***Alex Dario Torres Polonio***

## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR.....	II
APROBACIÓN DEL TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL.....	II
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR.....	IVV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
2.1 OBJETIVOS.....	5
2.1.1 Objetivo general.....	5
2.1.2 Objetivos específico.....	5
3.1 JUSTIFICACIÓN.....	5
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	7
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICO.....	7
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
2.2.1 Definición de Redes de Petri.....	10
2.2.2 Elementos y estructura de una RdP.....	11
2.2.3 Representación de una operación con RdP.....	13
2.2.4 Herramientas de análisis de una RdP.....	15
2.2.5 Extensiones de RdP.....	15
2.2.6 Modelos de eventos discretos.....	15
2.2.7 Simulación de eventos discretos.....	16
2.2.8 Ventajas y desventajas de la simulación.....	16
2.2.9 Definición de sistema.....	17
2.2.10 Definición de ProModel.....	17
METODOLOGÍA.....	18

DESARROLLO DEL TEMA.....	21
CONCLUSIONES.....	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estructura de una RdP clásica; con cuatro lugares, cuatro transiciones, cinco arcos de peso uno y cuatro de peso 2. ....	11
Figura 2 - Reglas de transición de una RdP.....	13
Figura 3 - RdP de operación elemental en espera.....	13
Figura 4 - RdP de operación elemental al iniciar.....	14
Figura 5 - RdP de operación elemental.....	14
Figura 6 - RdP de operación elemental al finalizar.....	14
Figura 7 - Diagrama de proceso de atención bancaria.....	22
Figura 8 - Red del sistema de atención bancaria. ....	23
Figura 9 - Sistema de atención bancaria - ProModel. ....	25
Figura 10 - Resultados de la simulación del sistema de atención bancaria. ....	26
Figura 11 - Reestructuración de la red y del modelo del sistema.....	27
Figura 12 - Resultado del sistema reestructurado.....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos de una clásica RdP.....	11
Tabla 2. Quintupla de una RdP .....	12
Tabla 3. Número de documentos por buscador académico .....	19
Tabla 4. Número de documentos por año de publicación .....	19
Tabla 5. Número de documentos publicado por participante de autores .....	19
Tabla 6. Resultados de la simulación del proceso de atención bancaria mediante la herramienta Bizagi.....	22
Tabla 7. Descripción de la red del sistema de atención bancario.....	24

# **TEMA: ESTUDIO DE LAS REDES DE PETRI EN EL MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS.**

## **RESUMEN**

En el ejercicio de desarrollo de aplicaciones informáticas el modelo y simulación de sistemas es clave, para los desarrolladores de software es necesario conocer de herramientas, métodos o formalismos matemáticos que permitan modelar y simular sistemas, en especial aquellos que por su naturaleza de concurrencia (eventos discretos) tiene mayor complejidad durante su proceso de desarrollo, es así que las redes de Petri han resultado ser una herramienta predictiva de utilidad para describir y estudiar sistemas que procesan información, permitiendo modelar sistemas concurrentes, asíncronos, distribuidos, paralelos, no deterministas y/o estocásticos. El objetivo de este trabajo se basa en un modelo de simulación, que consiste en comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes de un sistema. Este estudio presenta una revisión bibliográfica del formalismo matemático de las redes de Petri y su relación con el modelado y simulación de sistemas de eventos discretos como base para una investigación de carácter empírico con el abordaje de un caso de estudio en la simulación del proceso de atención bancaria, donde cada máquina de la red es la equivalencia de las actividades en las ventanillas de un banco donde cada cliente acude a realizar sus operaciones o servicios, evaluando a través de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas el comportamiento del sistema cuando se presenta un evento determinado con la finalidad de que estos resultados permitan identificar los puntos críticos, para: a) evaluar el impacto del proceso antes de llevarlos a cabo en la realidad, b) evaluar el comportamiento del modelo generado bajo escenarios, base para la toma de decisiones y sugerir cambios de mejora continua; y, c) replantear la simulación del modelo antes de su implementación, permitiendo reducir los costos innecesarios en el desarrollo de sistemas con errores concurrentes de transición a través de la predicción de eventos reales.

**PALABRAS CLAVE:** redes de Petri, modelado de sistema, simulación de sistema, eventos discretos.

# **TITLE: STUDY OF THE PETRI NETWORKS IN THE MODELING AND SIMULATION OF DISCRETE EVENT SYSTEMS**

## **ABSTRACT**

In the development of computer applications the model and simulation of systems is key, for software developers it is necessary to know about tools, methods or mathematical formalisms that allow modeling and simulating systems, especially those that due to their nature of concurrency (events discrete) has greater complexity during its development process, so Petri networks have turned out to be a useful predictive tool to describe and study systems that process information, allowing to model concurrent, asynchronous, distributed, parallel, non-deterministic systems and/or stochastics. The objective of this work is based on a simulation model, which consists of understanding, analyzing and improving the relevant operating conditions of a system. This study presents a bibliographic review of the mathematical formalism of Petri nets and its relationship with the modeling and simulation of discrete event systems as a basis for empirical research with the approach of a case study in the simulation of the care process banking, where each machine in the network is the equivalent of the activities in the windows of a bank where each client goes to perform their operations or services, evaluating through logical, mathematical and probabilistic relationships the behavior of the system when an event is presented determined in order that these results allow to identify the critical points, to: a) evaluate the impact of the process before carrying them out in reality, b) evaluate the behavior of the model generated under scenarios, basis for decision making and suggest changes for continuous improvement; and, c) rethink the simulation of the model before its implementation, allowing to reduce the unnecessary costs in the development of systems with concurrent errors of transition through the prediction of real events.

**KEY WORDS:** Petri net, system modeling, system simulation, discrete events.

## INTRODUCCIÓN

Con los rápidos avances tecnológicos, económicos y sociales nos hemos rodeado de sistemas, y estos se han clasificado en; sistemas de eventos continuos y discretos; para nuestro estudio específicamente hablaremos de los sistemas que operan con computadora, a los cuales se los interpreta como sistemas de eventos discreto, en estos, los cambios se deben a la ocurrencia asincrónica de eventos, en otras palabras significa que en los eventos discretos el valor de su variable cambia en momento de tiempo no necesariamente constante; un claro ejemplo de los sistemas discreto es la cantidad de personas que existen en un banco en donde claramente se distinguen dos eventos: 1) La llegada de un cliente (exógeno), 2) cliente termina de ser atendido (endógeno) y dependiendo de los eventos la cantidad puede aumentar o disminuir.

Al momento de desarrollar un sistema informático su efectividad depende de un buen modelado y simulación; es aquí donde las **Redes de Petri (RdP)** por su naturaleza tiene la capacidad de modelar **sistemas de eventos discretos**; Huayna (2009) describe que: “Este tipo de redes puede servir para facilitar un enfoque de prototipo, con el que se logre un modelo del sistema previo al programa de computadora que refleje sus características fundamentales de manera gráfica de fácil comprensión”. Contribuyendo estos parámetros de gran ayuda a la hora de desarrollar sistemas discretos con RdP.

Las RdP es una herramienta de modelación gráfica y matemática que puede aplicarse en el modelar y estudiar sistemas concurrentes, asíncronos, distribuidos, paralelos, no deterministas y/o estocásticos. Como una herramienta gráfica, las RdP pueden utilizarse como un apoyo de comunicación visual similar al diagrama de flujo, diagramas de bloques y redes. Además, los tokens son utilizados en estas redes para simular el comportamiento dinámico y concurrente de los sistemas. (Murata, 1989)

Este estudio de redes de Petri en el modelado y simulación de sistemas de eventos discretos fue elaborado con la finalidad de servir como referencia y consulta al momento de desarrollar sistemas de software, mostrando como herramienta principal las RdP ideales para modelar sistemas discretos.

# CAPÍTULO 1

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los sistemas informáticos son necesarios en la inmediatez de la información y un gran porcentaje de estos pertenecen al tipo de sistemas de eventos discretos, los mismos que al momento de modelar, simular y diseñar han mostrado mayores exigencias por parte de los ingenieros de software, de ahí que los ingenieros necesitan conocer y dominar diferentes metodologías en el modelado y simulación para desarrollar un software.

Existen varios formalismos para realizar el modelado y simulación de sistemas discretos, tales como: *Discrete Event System Specification* (DEVS), *Event Graphs*, *Petri Nets*, entre otros. Para ello se ha delimitado en este estudio, Petri Nets o Redes de Petri (RdP), basado en el estudio doctoral de Carl Adam Petri “Kommunikation mit Automaten” (Comunicación con Automatas” (Petri, 1962). Considerado este formalismo como uno de los más populares para modelar, analizar y simular los sistemas de eventos discretos.

Todo sistema informático debe ser modelado, es aquí donde se analizan las propiedades para determinar un diagnóstico efectivo. Una RdP es un modelo formal abstracto de flujo de información que posibilita el análisis de sistemas y procesos, que permite modelar el comportamiento y la estructura de un sistema, llevando al modelo a condiciones límite que en un sistema real son difíciles de lograr (Castellano, 2006, p. 49). Además, cabe destacar que desde la aparición de las RdP según Baquero, Luis y Febe (2016) afirma que: “Se han realizado numerosos trabajos que han desarrollado una estable teoría para la especificación y verificación de sistemas concurrentes” (p.139). Con los aportes de estos autores fundamentan la evolución de las RdP permitiendo la optimización y eficiencia en la aplicación de sistema de eventos discretos.

Desde la perspectiva del ingeniero en software esta herramienta permite identificar los componentes del sistema, la interacción y ocurrencia entre ellos, debido que se obtiene información importante sobre la estructura y comportamiento para evaluar el sistema (modelado-simulado), y sugerir mejoras o cambios previo a la codificación; una de las maneras más prácticas y menos costosas de demostrar la viabilidad y factibilidad de un

sistemas antes del desarrollo, es a través del modelado y simulación ; en esta problemática se generaron las siguientes interrogantes:

- a) ¿Cómo funcionan el formalismo de las RdP en la modelación y simulación de eventos discretos?
- b) ¿Qué características tienen las RdP en el modelado de sistemas de eventos discretos?
- c) ¿Cuál es la importancia de la simulación de sistemas de eventos discretos?
- d) ¿Qué impacto tiene la aplicación de RdP en el modelado y simulación de eventos discretos?

## **2.1 OBJETIVOS**

### **2.1.1 Objetivo general**

Analizar las redes de Petri en el modelado y simulación de los sistemas de eventos discretos.

### **2.1.2 Objetivos específico**

- Enunciar conceptos y principios básicos de redes de Petri en el modelado y simulación de eventos discretos.
- Identificar las características de las redes de Petri en el modelado de sistemas.
- Destacar la importancia de la simulación de sistemas de eventos discretos.
- Analizar el uso de una herramienta para la simulación de sistemas de eventos discretos mediante el uso de redes de Petri.

## **3.1 JUSTIFICACIÓN**

Para los desarrolladores de sistemas es necesario conocer de herramientas, métodos o formalismos matemáticos que permitan modelar y simular sistemas, en especial aquellos que por su naturaleza de concurrencia (eventos discretos) tiene mayor complejidad durante su proceso de desarrollo, de ahí la necesidad de realizar estudios de las redes de Petri en el modelado y simulación de sistemas de eventos discretos, pues este formalismo desde su aparición ha demostrado ser muy fiable a la hora de modelar y simular sistemas.

El estudio de este formalismo (RdP) sirve de ayuda para los ingenieros en software antes de concebir el programa de computadora; este en la fase de modelado ha sido caracterizado como “eficaz y eficiente en la toma de decisiones para la identificación y eliminación de desperdicios (entendido como desperdicio toda aquella actividad que no agrega valor, pero

si un costo y trabajo)” (Morales, Rojas, Hernandez, Morales y Jimenez, 2015, p. 183). En la fase de simulación, permite contar con información estadística correspondiente al comportamiento del sistema; cabe resaltar que este proceso no solo es para desarrollar nuevos sistemas sino para sistemas existentes que pudieran mejorar su funcionamiento, y tomar la decisión de modificar o mantener el sistema implementado.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICO

Según Morales *et al.* (2015), de la Universidad Tarapacá de Chile en su estudio “Modelo de un sistema de producción esbelto con redes de Petri para la toma de decisiones”, Sostienen que:

En un mundo altamente dinámico, debido a los cambios tecnológicos, económicos, políticos y sociales en el entorno, se ha reconocido que los sistemas productivos desempeñan un papel fundamental en la competitividad de una organización. En esta investigación se plantea la integración del pensamiento esbelto en la gestión de un sistema de producción mediante la técnica de simulación de eventos discretos empleando redes de Petri como metodología de apoyo en el proceso de toma de decisiones. La toma de decisiones en un sistema productivo esbelto es un proceso complejo, esto debido a sus características estáticas (estructurales), dinámicas (operacionales) y los desperdicios que se presentan. En el trabajo se diseñan un conjunto de estructuras que representan distintas fases en un proceso productivo de neumáticos y se demuestra que un modelo empleando la metodología de redes de Petri ayuda a tener una eficaz y eficiente toma de decisiones para la eliminación de desperdicios, esto gracias a las propiedades para modelar eventos discretos y analizar el comportamiento dinámico del sistema. Finalmente, la fase de simulación permite analizar un conjunto de parámetros a través de un indicador sistémico OEE (Eficiencia General de los Equipos), y demostrar que la implementación en conjunto de métodos, técnicas y herramientas esbeltas genera sinergia en el sistema. (Morales *et al.*, 2015, p.182)

La investigación de Morales, tiene como objetivo modelar un sistema de producción de neumáticos que permita identificar y representar componentes, flujos de información y flujos de materiales a través del formalismo de RdP, y eliminar aquellos desperdicios mediante la reconfiguración de la red; como aporte a esta investigación este estudio nos muestra que las redes de Petri son una ayuda eficaz y eficiente durante el proceso de modelado y simulación de sistemas discretos.

Además, es importante destacar que Morales (2015) manifiesta que las RdP, por su naturaleza gráfica y formal, muestran ser una herramienta que permite una descripción fácilmente comprensible de un sistema, para modelar comportamientos que incluyen secuencias, concurrencia, paralelismo y toma de decisiones. Las alternativas de operación en sistemas de producción que pueden ser modeladas a través de ellas son bastante extensas y descriptivas. Un aspecto importante por resaltar es que las RdP gracias a sus propiedades nos permiten tomar en cuenta

variables críticas, que a través de otro tipo de modelo podríamos olvidar considerar. El impacto que tienen las redes de Petri en relación a un sistema productivo esbelto, se da en función de la capacidad que tienen las redes en modelar la complejidad de un sistema de estas características; teniendo la capacidad de representar elementos a través de lugares y eventos a través de transiciones. Las RdP permiten representar los diversos escenarios que se presentan en un sistema productivo; permiten identificar variables críticas, y conocer el comportamiento que conservará el sistema cuando los parámetros de una variable cambian.

En otras investigaciones Medina, Seck y Hernandez (2013) con el tema “Aplicación de redes de Petri en la modelación de sistemas de eventos discretos”, de la universidad autónoma del Estado de Hidalgo resalta:

La importancia de modelar los sistemas de eventos discretos con el formalismo de RdP. Basado en que todo lo que nos rodea son sistemas, los cuales se han clasificado como: Sistemas de Eventos Continuos y Sistemas de Eventos Discretos. Mientras que un sistema continuo es aquel que va cambiando al paso del tiempo de forma constante, un sistema discreto es aquel que cambia su estado en intervalos de tiempo variados y no de forma constante. Ejemplos de sistemas continuos son el cambio en la temperatura, la velocidad a la que cae un objeto, o el contenido de agua en un tinaco que está siendo llenado por medio de la tubería y a la vez vaciado por el uso doméstico de una casa. Por otro lado, ejemplos de sistemas discretos son; la cantidad de personas que existe en la fila de un banco, el número de vehículos esperando en una caseta de cobro, o la cantidad de productos que existen en un almacén. Como puede observarse, en los ejemplos de los sistemas de eventos discretos el valor de sus variables cambia en momentos del tiempo no necesariamente constantes; en particular, la cantidad de personas que están en un banco puede ir en aumento conforme los clientes llegan, pero va a haber lapsos de tiempo en que se mantiene la misma cantidad sin sufrir cambio alguno, en otro instante en el tiempo la cantidad de personas disminuirá, mientras que en otros aumentará.

Son muchos los software que en la actualidad permiten simular sistemas de eventos discretos tales como PowerDevs, Arena, ProModel, entre otros, en este estudio se realizara una demostración con la herramienta ProModel misma que al momento de efectuar la simulación del modelo del sistema arrojará como resultados datos estadísticos que serán analizado para la mejora del sistema modelado; “a partir del mismo modelo se pueden ejecutar diferentes escenarios del modelo, con modificaciones que pudieran mejorar su funcionamiento, y tomar la decisión de modificar el sistema real o mantenerlo” (Medina et al., 2013). Estas modificaciones nacen en el análisis de la simulación, es la simulación que a través de los resultados que arroja permite realizar una evaluación del sistema sin que este esté desarrollado.

El estudio de Medina et al. (2013) concluye que: este trabajo expone la importancia de desarrollar modelos de los sistemas de eventos discretos para estudiarlos y comprender su comportamiento. Existen herramientas computacionales que permiten analizar este tipo de sistemas, las cuales están basadas en análisis estadísticos y ofrecen soluciones con ciertos grados de incertidumbre. Por otro lado, las RdP pueden ser aplicadas para la modelación de sistemas de eventos discretos, las cuales ofrecen una forma de representación gráfica y matemática de los sistemas modelados.

La formalidad matemática de la RdP proporciona herramientas de análisis para analizar los posibles estados a los que el sistema modelado pudiera alcanzar. Además, existen extensiones de RdP para modelar sistemas que no puedan ser representados fácilmente con las RdP tradicionales. Por lo tanto, si existe algún sistema de evento discreto que no pudiera modelarse con las RdP propuestas por diferentes investigadores, es posible adecuar el modelo original, adicionarle las características necesarias, y proponer una nueva extensión de RdP.

En esta misma labor de investigación Piré, Bergero, y Kofman (2010) de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario Argentina, con el tema “Modelado y simulación de redes de Petri con el formalismo DEVS”, demuestra que:

El desarrollo de una librería de Redes de Petri implementada completamente bajo un simulador de eventos discretos (DEVS) llamado PowerDEVS. Se describe la metodología utilizada para sortear los problemas que surgen de las diferencias entre estos formalismos (modularidad vs. no-modularidad, cambios locales vs. cambios globales, prioridades vs. no determinismo) con el objetivo de mantener la apariencia gráfica de las Redes de Petri. Esta nueva librería permite el modelado y simulación de modelos híbridos inter- formalismos (DEVS y Redes de Petri) tomando ventajas de cada uno de ellos y utilizando cada uno donde es más apropiado. Se presentan también dos ejemplos de uso de la librería donde se ilustran algunas de sus características.

Basado en el estudio de Piré, nos muestra la utilidad de un simulador (PowerDEVS) desarrollado para el diseño de modelos de sistemas de evento discreto, en la que incluye una librería de las redes de Petri; la contribución de este trabajo nos ayudara a demostrar y analizar un caso de estudio basado en la atención bancaria a través de la simulación de sistemas de eventos discretos mediante el uso de redes de Petri contribuyendo al desarrollo de sistemas complejos de carácter discreto e híbridos.

En la investigación realizada por Huayna (2009) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos desarrolló un estudio basado en “Aplicación de las redes de Petri a la simulación discreta de sistema”. Este trabajo consiste en una revisión bibliográfica sobre las RdP en la simulación discreta dando un aporte muy significativo para nuestro estudio en vista que resalta las ventajas que tiene este formalismo a la hora de desarrollar sistemas.

El resultado que presenta este artículo es la revisión bibliográfica del uso de las Redes de Petri y sus posibilidades de aplicación a la simulación de sistemas. Además, muestra las ventajas que tienen las Redes de Petri en el tratamiento individual de los procesos independientes, procesos paralelos o concurrentes y en los recursos compartidos. También se describe un panorama general de las Redes de Petri extendidas donde resulta difícil modelar algunas condiciones o eventos de sistemas mediante una red de Petri convencional. (p.35)

Huayna concluye que: Una Red de Petri es una representación matemática de un sistema distribuido discreto. El uso de redes de Petri representa una alternativa para modelar sistemas, sus características hacen que, para algunos problemas las redes de Petri funcionen de una manera natural. Consideramos que las redes de Petri pueden utilizarse como modelo previo al programa de simulación con el cual se realizarán las corridas necesarias. (p.43)

A los efectos técnicos el empleo de la red de Petri no acelera de manera directa la obtención del programa de simulación. Es mediante una mayor comprensión y comprobación del funcionamiento del sistema objeto de estudio antes de desarrollar el trabajo de programación, que se ganará en calidad del modelo de simulación, es decir del programa de computadora. Por otra parte, la sencillez en la confección de la red de Petri permite enfrentar en un ámbito docente la solución de problemas de simulación mucho más complejos que los que se realizan en estos momentos, aspecto que elevará la calidad de los conocimientos que adquiere el estudiante. (p.43)

Como aporte a este estudio Huayna menciona la necesidad de incluir el tema del formalismo de RdP en sistemas de eventos discretos, dentro del proceso de aprendizaje de los estudiantes en especial a aquellos que desarrollan sistemas tales como ingenieros en software, sistemas, industriales, entre otros.

## **2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.2.1 Definición de Redes de Petri**

Las RdP son introducidas por Carl Adam Petri sobre los años 60, fueron desarrolladas como una herramienta para simular propiedades dinámicas de los sistemas complejos mediante modelos gráficos de procesos concurrentes y distribuidos. Una RdP es un método de

modelización de Sistemas a Eventos Discretos mediante el cual es posible controlar, evaluar y optimizar diferentes procesos (Castellanos, 2008).

### 2.2.2 Elementos y estructura de una RdP

Las RdP clásicas según Murillo (2008) se conciben como un grafo dirigido que posee dos tipos de nodos principales: los lugares representados por círculos y las transiciones representadas por barras rectangulares.

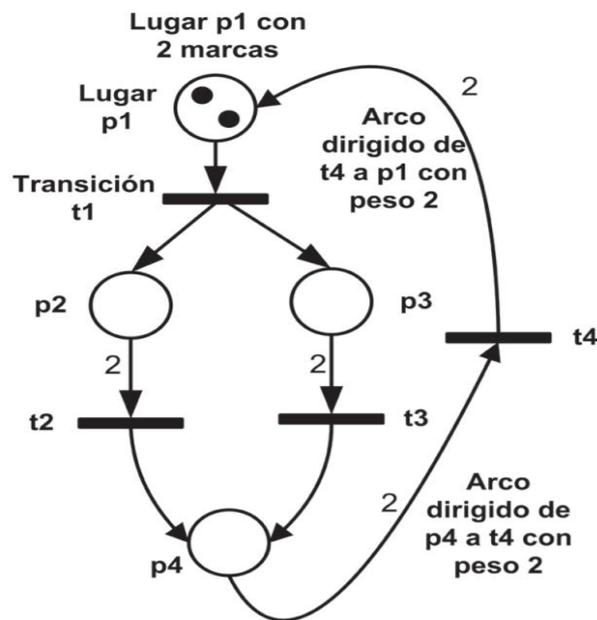


Figura 1. Estructura de una RdP clásica; con cuatro lugares, cuatro transiciones, cinco arcos de peso uno y cuatro de peso 2.

Fuente: Murillo, 2008. Pag.104

Tabla1.Elementos de una clásica RdP (Figura 1)

Variables	Descripción
<b>p1</b>	Primer lugar con 2 tokens (puntos negros).
<b>t1</b>	Primera transición con arco dirigido de p1 a t1.
<b>p2</b>	Segundo lugar con arco dirigido de t1 a p2.
<b>p3</b>	Tercer lugar con arco dirigido de t1 a p3.
<b>t2</b>	Segunda transición con arco de peso 2 dirigido de p2 a t2.
<b>t3</b>	Tercera transición con arco de peso 2 dirigido de p3 a t3.

- p4** Cuarto lugar con arcos dirigidos de t2 a p4 y de t3 a p4.
- t4** Cuarta transición con arco de peso 2 dirigido de p4 a t4. Procedido de un último arco de peso 2 dirigido de t4 a p1.

---

**Fuente:** Murillo, 2008

En la Figura 1 se puede ver una estructura clásica de RdP donde se puede identificar sus elementos que son lugares, transiciones, arcos y tokens; Los arcos dirigidos se encargan de conectar los lugares con las transiciones y viceversa. Los arcos poseen un número que indica su peso, mismo que determina la cantidad de marcas que salen de un lugar o llegan a un lugar, siempre y cuando se haya disparado una transición habilitada (Murillo, 2008). Las marcas son representadas con puntos negros dentro de los lugares.

A continuación, una RdP como una quintupla,

$$PN = (P, T, F, W, M_0)$$

Donde:

**Tabla 2.** *Quintupla de una RdP*

Variables	Descripción
<b>P</b> = {p1, p2,..., pm}	Es un conjunto finito de lugares.
<b>T</b> = {t1, t2,..., tn}	Es un conjunto finito de transiciones.
<b>F</b> ⊆ (P ×T) ∪ (T ×P)	Es un conjunto de arcos dirigidos.
<b>W</b> : F→ {1, 2, 3,...}	Es una función de pesos de los arcos.
<b>M0</b> :P→ {1, 2, 3,...}	Es el marcado inicial de la red.
<b>P</b> ∩ <b>T</b> =∅ y <b>P</b> ∪ <b>T</b> ≠∅.	

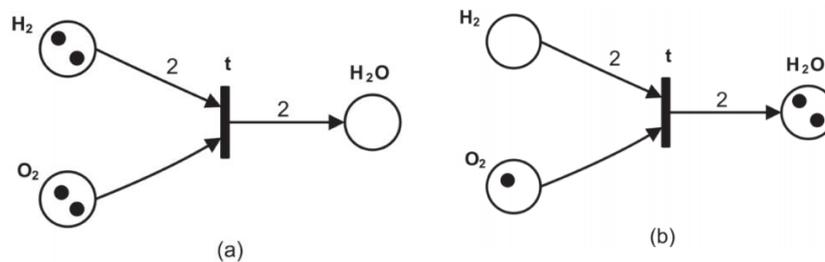
**Fuente:** Descripción de la quintupla de una RdP según (Murillo, 2008).

De acuerdo a Murillo (2008) afirma que el marcado inicial de una PN (Petri nets) son las marcas que posee cada lugar de la red en su inicio. Una Red de Petri con la estructura (P, T, F, W) sin especificar su marcado inicial es denotada por N. Por otro lado, una PN con un marcado inicial dado es denotado por PN=(N, M<sub>0</sub>). (p. 104)

El comportamiento de los sistemas puede ser descrito en términos de sus estados y sus cambios. En las RdP, el estado del sistema, o, mejor dicho, el marcado de la PN cambian de acuerdo con las siguientes reglas de disparo o transición:

1. Se dice que una transición es habilitada si cada lugar de entrada  $p$  de  $t$  es marcada con al menos  $w(p,t)$  marcas, donde  $w(p,t)$  es el peso del arco de  $p$  a  $t$ .
2. Una transición habilitada puede o no ser disparada (esto depende solamente del carácter no determinista del evento).
3. El disparo de una transición  $t$  habilitada remueve  $w(p,t)$  marcas de cada lugar de entrada  $p$  de  $t$  y agrega  $w(t,p)$  marcas a cada lugar de salida  $p$  de  $t$ , donde  $w(t,p)$  es el peso de los arcos de  $t$  a  $p$ . (p. 105)

En la figura 2 se muestra un ejemplo de las reglas de transición. Note que la transición  $t$  se encuentra habilitada, puesto que existen más marcas en los lugares de entrada que pesos de los arcos dirigidos (figura II a). Cuando se dispara la transición  $t$ , existe un flujo de marcas desde los lugares de entrada hacia el lugar de salida (figura II b) (Murillo, 2008, p. 105).

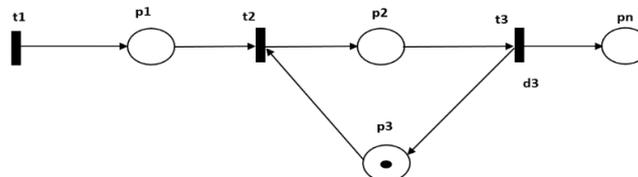


*Figura 2.* Reglas de transición de una RdP. Red de Petri donde se muestra la representación de la reacción química  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ . a) Antes de la reacción química representada por  $t$ . b) Después de la reacción.

Fuente: (Murillo, 2008)

### 2.2.3 Representación de una operación con RdP

Para la ejecución una operación según Morales et al (2015) tiene que existir una transición al inicio,  $t_1$ , en espera de ser habilitada externamente, con la generación de una señal para iniciar la operación. De acuerdo como se muestra a continuación.



*Figura 3.* RdP de operación elemental en espera.

Fuente: (Morales et al., 2015)

Luego del disparo de t1, el esquema de la red cambia, mostrándose en el lugar p1 una marca como se demuestra a continuación.

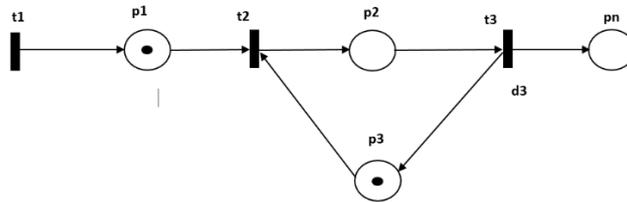


Figura 4. RdP de operación elemental al iniciar.  
Fuente: (Morales et al., 2015)

Según vayan avanzando los disparos va a ir evolucionando la red y de acuerdo a la interpretación de Morales et al (2015) afirma:

Que es posible que la red evolucione hacia la activación de p3 (una marca en este lugar), puesto que t2 está habilitada, ya que también hay una marca en p2. Ésta señala la disponibilidad de la máquina para la operación. Entonces, de acuerdo con la regla de disparo, cambia el marcaje de la RdP: las marcas de p1 y p2 desaparecen, para aparecer una en p3, como se observa en la Figura 5. La ausencia de marca en p2 indica que ahora la máquina ya no está libre para nuevas solicitudes de operación. (p.187)

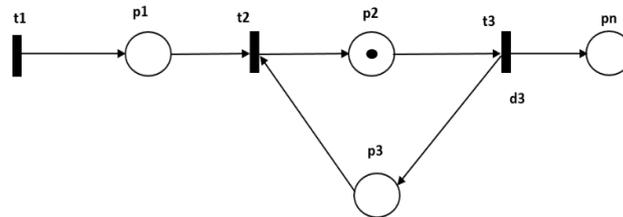


Figura 5. RdP de operación elemental.  
Fuente: (Morales et al., 2015)

El fin de la operación está regido por la temporización (d3) de la transición t3. Terminada su duración, desaparece la marca de p3, vuelve a aparecer una marca en p2 (indicando la disponibilidad del recurso) y se genera una marca en el lugar de salida pn, como se muestra en la Figura 6. El flujo puede volver a iniciarse en t1, para la ejecución de un nuevo ciclo (Morales, et al., 2015, p. 187).

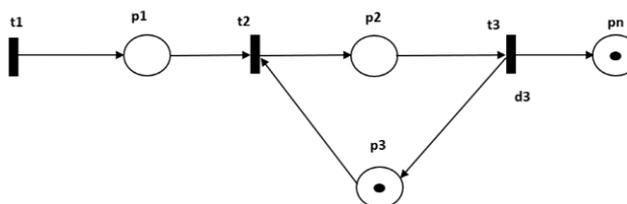


Figura 6. RdP de operación elemental al finalizar.  
Fuente: (Morales et al., 2015)

#### **2.2.4 Herramientas de análisis de una RdP**

Los métodos para analizar RdP pueden clasificarse en los siguientes grupos: 1) el método de árbol de cobertura, 2) la ecuación de estado, que utiliza a la matriz de incidencia, 3) la técnica de simplificación de RdP y 4) la simulación de la RdP. El primer método tiene que ver con todas las marcas alcanzables de la marca inicial. Este método se podría aplicar a todas las clases de redes, pero está limitado a redes “pequeñas” debido a la complejidad en el incremento del espacio de estados. Por otro lado, el enfoque de ecuación de matrices y la técnica de simplificación de RdP son muy poderosos, pero en muchos casos se pueden aplicar sólo subclases especiales de RdP o en situaciones especiales. Para modelos de RdP complejos, la simulación de eventos discretos es otra de las formas con que se pueden revisar las propiedades del sistema. Wang (citado en Medina, et al., 2013).

#### **2.2.5 Extensiones de RdP**

Existen sistemas de eventos discretos cuya modelación con las RdP descritas anteriormente se vuelve complicado, debido a características presentes en estos sistemas que no son fáciles de incorporar. Tal es el caso de sistemas donde está presente la aleatoriedad en la ocurrencia de eventos, o aquellos donde se necesita contar con atributos de estos eventos para hacer una representación más cercana a la realidad. Por tal motivo, al modelo original de RdP se le han incorporado características que permitan la modelación y simulación de estos sistemas. Entre los modelos extendidos de RdP que se han propuesto están las RdP Temporizadas, estocásticas, Coloreadas, Difusas, Coloreada Condicional, etc. Lara-Rosano (citado en Medina, et al., 2013)

#### **2.2.6 Modelos de eventos discretos**

Son modelos dinámicos, estocásticos y discretos en los que las variables de estado cambian de valor en instante no periódico. Esto instantes de tiempo se corresponden con la concurrencia de un evento. Por tanto, un evento se define como una acción instantánea que puede cambiar el estado del modelo. (Piera, 2002)

Para el Autor, los elementos de los modelos de eventos discretos son:

- **Actividades:** son las tareas o acciones que tienen lugar en el sistema. Están encapsulados entre dos eventos. Por ejemplo, la reparación de una máquina de una pieza o el transporte de un cliente. Las actividades generalmente tienen duración temporal y, normalmente, precisan del uso de recurso.
- **Entidades:** son el conjunto de objetos que constituyen o fluyen por el sistema. Pueden ser temporales o permanentes.
- **Entidades temporales:** son los objetos que se procesan en el sistema, como por ejemplo las piezas, los clientes o los documentos. Entidades diferentes pueden tener características diferentes que denominaremos atributos: por ejemplo, precio, prioridad, estado o tamaño. Las entidades temporales son los objetos que llegan, se procesan y salen del sistema.
- **Recursos o entidades permanentes:** son los medios gracias a los cuales se pueden ejecutar las actividades. Los recursos difieren quien o que ejecuta la actividad. Los

recursos pueden tener características como capacidad, velocidad, averías y reparaciones o tiempo de ciclo. Ejemplo de recurso son máquinas, los elementos de transporte o las personas. (Piera, 2002, p. 8)

### **2.2.7 Simulación de eventos discretos**

Es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado. El objetivo del modelo de simulación consiste, precisamente, en comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes del sistema. (Garcia, Garcia, y Cardenas, 2006, p. 3)

### **2.2.8 Ventajas y desventajas de la simulación**

La simulación de eventos discretos presenta ventajas y desventajas que son preciso tomar en cuenta al determinar si es apta para resolver un problema determinado. (Garcia, et al., 2006)

Dentro de las ventajas más comunes en la simulación podemos citar las siguientes según García, et al., (2006):

- a) Es muy buena herramienta para conocer el impacto de los cambios del proceso sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad.
- b) Mejora el conocimiento del proceso actual al permitir que el analista vea cómo se comporta el modelo generado bajo diferentes escenarios.
- c) Puede utilizarse como medio de capacitación para la toma de decisiones.
- d) Es más económico realizar un estudio de simulación que hacer muchos cambios en los procesos reales.
- e) Permite probar varios escenarios en busca de las mejores condiciones de trabajo de los procesos que se simulan.
- f) En problemas de gran complejidad, la simulación permite generar una buena solución.
- g) En la actualidad los paquetes de software para simular tienden a ser más sencillos, lo que facilita su aplicación.
- h) Gracias a las herramientas de animación que forman parte de muchos de esos paquetes es posible ver como se comportara un proceso una vez que sea mejorado.

Entre las desventajas que pueden llegar a presentar la simulación están:

- a) Aunque muchos paquetes de software permiten obtener el mejor escenario a partir de una combinación de variaciones posibles, la simulación no es una herramienta de optimización.
- b) La simulación puede ser costosa cuando se quiere emplearla en problemas relativamente sencillos de resolver, en lugar de utilizar soluciones analíticas que se han desarrollado de manera específica para ese tipo de casos.
- c) Se requiere bastante tiempo para realizar un buen estudio de simulación; por desgracia, no todos los analistas tienen la disposición (o la oportunidad) de esperar ese tiempo para obtener una respuesta.

- d) Es preciso que el analista domine el uso de paquete de simulación y que tenga sólidos conocimientos de estadística para interpretar los resultados.

### **2.2.9 Definición de sistema**

Un sistema es una sección de la realidad que está en el foco primario de un estudio y está compuesto de componentes que interactúan con otros de acuerdo una frontera identificada para el propósito del estudio. Un sistema puede realizar una función que no es realizable por sus componentes individuales. (Tarifa, 1999)

### **2.2.10 Definición de ProModel**

Es una tecnología de simulación de eventos discretos que se utiliza para planificar, diseñar y mejorar sistemas de fabricación, logística y otros sistemas operativos o nuevos. Le permite representar con precisión los procesos del mundo real, incluyendo su variabilidad inherente e interdependencias, con el fin de llevar a cabo un análisis predictivo sobre los cambios potenciales. (IOSA, 2016)

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

Enfoque de investigación: esta investigación es cualitativa de tipo documental y descriptiva con énfasis en la metodología del análisis de documentos y descripción de eventos de estudio.

Una fuente muy valiosa de datos cualitativos son los documentos, materiales y artefactos diversos. Nos pueden ayudar a entender el fenómeno central de estudio. Prácticamente la mayoría de las personas, grupos, organizaciones, comunidades y sociedades los producen y narran, o delinear sus historias y estatus actuales. T con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. (Hernandez, 2014)

La base del estudio en su mayoría es mediante revisión sistemática de artículos científicos y otra parte en revisión literaria de libros y sitios web, entre otros, cuyo estado del arte contribuye directamente en nuestro estudio, efectuando las siguientes fases:

#### **Fase 1:**

Con las palabras claves (redes de Petri, modelado de sistemas, simulación de sistemas y eventos discretos), Se procedió a identificar las publicaciones en los diferentes buscadores académicos que garanticen la veracidad de los datos; los buscadores que arrojaros resultados sobre esta temática fueron: Redalyc, Dialnet, Scielo, Eric y Google académico.

Durante el análisis de búsqueda se logró identificar 15 artículos 2 libros y 2 sitios web que se relacionaban con el tema de redes de Petri en el modelado y simulación de sistemas de eventos discretos; a partir de estos resultados se procederá a analizar las siguientes variables: número de documentos por buscador académico, por año y cantidad de participación de autores.

De los 5 buscadores académicos que arrojaron documentos sobre la temática, Redalyc es la que contribuyo con el mayor número de estudios con un total de 8 seguido de google académico con 4.

**Tabla 3. Número de documentos por buscador académico**

<b>Buscador académico</b>	<b>Publicaciones</b>
<b>Redalyc</b>	8
<b>Dialnet</b>	2
<b>Eric</b>	1
<b>Scielo</b>	2
<b>Google académico</b>	4
<b>Total</b>	<b>17</b>

**Fuente:** Elaboración propia

De los 15 artículos que se alimentó este estudio 10 fueron publicados en los últimos 7 años y los otro 5 en años inferiores al 2010, los 2 libros también fueron publicados en esta categoría de años.

**Tabla 4. Número de documentos por año de publicación**

<b>Años</b>	<b>Publicaciones</b>
<b>2016</b>	2
<b>2015</b>	3
<b>2014</b>	1
<b>2011</b>	2
<b>2010</b>	2
<b>Menor que 2010</b>	7
<b>Total</b>	<b>17</b>

**Fuente:** Elaboración propia

De las 17 publicaciones, 5 fueron simple, otras 5 fueron triple, 4 fueron cuádruple y 3 fueron quíntuple; no hubo publicación doble.

**Tabla 5. Número de documentos publicado por participante de autores**

<b>Años</b>	<b>Publicaciones</b>	<b>Simple</b>	<b>Doble</b>	<b>Triple</b>	<b>Cuádruple</b>	<b>Quíntuple</b>
<b>2016</b>	2	1	0	0	1	0
<b>2015</b>	3	0	0	0	2	1
<b>2014</b>	1	0	0	0	0	1
<b>2011</b>	2	1	0	0	0	1
<b>2010</b>	2	0	0	2	0	0
<b>Menor que 2010</b>	7	3	0	3	1	0
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Fase 2:**

Analizar el contenido de los artículos y documentos obtenidos a través de los buscadores académicos para así poder citar la suficiente información que sustente y garantice la veracidad de este estudio, permitiendo esta fase cumplir con gran parte de los objetivos planteados en el capítulo 2, entre estos tenemos el de enunciar conceptos y principios básicos de redes de Petri en el modelado y simulación de eventos discretos, también el de identificar las características de las redes de Petri en el modelado de sistemas y el de destacar la importancia de la simulación de sistemas de eventos discretos.

**Fase 3:**

Desarrollar un caso de estudio basado en un sistema de información de atención bancaria de carácter discreto en el que se quedará demostrado los beneficios de modelar y simular sistemas de eventos discretos usando redes de Petri, desarrollo que constituye a:

1. Identificar las actividades que se realizan en el entorno de trabajo del sistema de atención bancaria entre el cliente y el pagador o receptor, y mediante un diagrama de proceso graficar estas actividades mostrando el flujo del sistema; para realizar este diagrama se utilizó la herramienta de modelamiento de procesos Bizagi.
2. Llevar la lógica de este diagrama de proceso al modelado de redes de Petri.
3. Llevar la red del sistema de atención bancaria en redes de Petri a un software para su simulación, en este caso de estudio se ha utilizado la herramienta ProModel la misma que permite modelar sistemas de eventos discretos.

**Fase 4**

Analizar los resultados de la simulación del sistema de atención bancaria que permitirá identificar los puntos críticos, de donde surgen cambios de mejora continua, en caso de existir, estas mejoras permitirán reestructurar el modelo, replantear la simulación, analizar y compararlos con resultados anteriores.

## CAPÍTULO 4

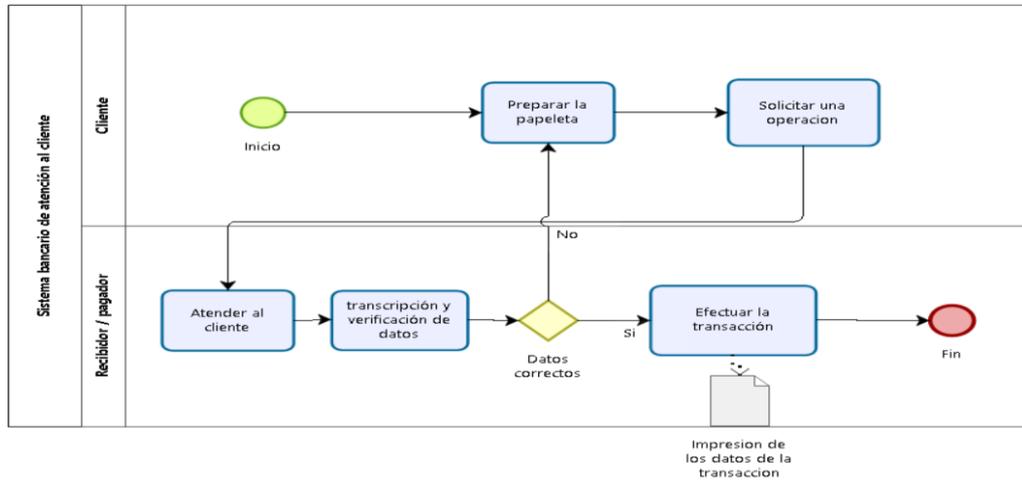
### DESARROLLO DEL TEMA

En este trabajo se planteará como ejemplo un estudio de sistema de atención bancaria, mismo que será representado en un diagrama de proceso para luego llevarlo a un modelo matemático (redes de Petri) y por ultimo esta red será simulado con la herramienta *ProModel*. Con este caso se demostrará las ventajas y efectividad de modelar sistemas de eventos discretos con RdP para posteriormente llevarlo a su simulación donde se analizaran los resultados y se propondrá una mejora que permitirá un mejor desenvolvimiento del sistema de atención bancaria.

Como información del sistema a de atención bancaria tenemos los siguientes datos:

1. Cuenta con 3 ventanillas de atención al cliente.
2. Cuenta con 1 ventanillas atención a clientes preferencial (mujeres embarazadas, tercera edad y discapacitados).
3. El tiempo promedio de espera de un cliente en la cola es de aproximadamente 15 minutos.
4. Un recibidor o pagador atiende a un cliente cada 2 minutos 50 segundos aproximadamente.
5. Los clientes llegan al banco a realizar 3 tipos de operaciones (depósitos o pagos, retiros y transferencias).
6. existen dos colas, una para clientes normales y otra para clientes preferenciales.
7. El cliente para preparar la papeleta y solicitar una operación se toma un tiempo aproximado a 1 minuto 35 segundos.
8. El recibidor o pagador para atender al cliente y transcribir los datos para su verificación se toma un tiempo aproximado de 1 minuto 30 segundos.
9. Si los datos de la papeleta son erróneos el cliente tendrá que volver a realizar el proceso desde el inicio y volver a ser la cola.
10. El recibidor o pagador para efectuar la transacción del cliente se toma un tiempo aproximado de 1 minuto 30 segundos.
11. Cada 5 minutos ingresan de 0 a 9 clientes aproximadamente a realizar una operación al banco.

De acuerdo a estos datos se procedió a realizar un diagrama de proceso con la herramienta *Bizagi* que represente el comportamiento de las actividades que intervienen dentro del sistema de atención bancaria.



*Figura 7.* Diagrama de proceso de atención bancaria.  
Fuente: Elaboración propia

El diagrama de la Figura 7 es la representación del modelo de atención bancaria realizado con la herramienta *Bizagi* mismo que fue simulado para determinar el número de clientes aproximados que un recibidor o pagador puede atender por día; esta simulación arrojó los siguientes resultados.

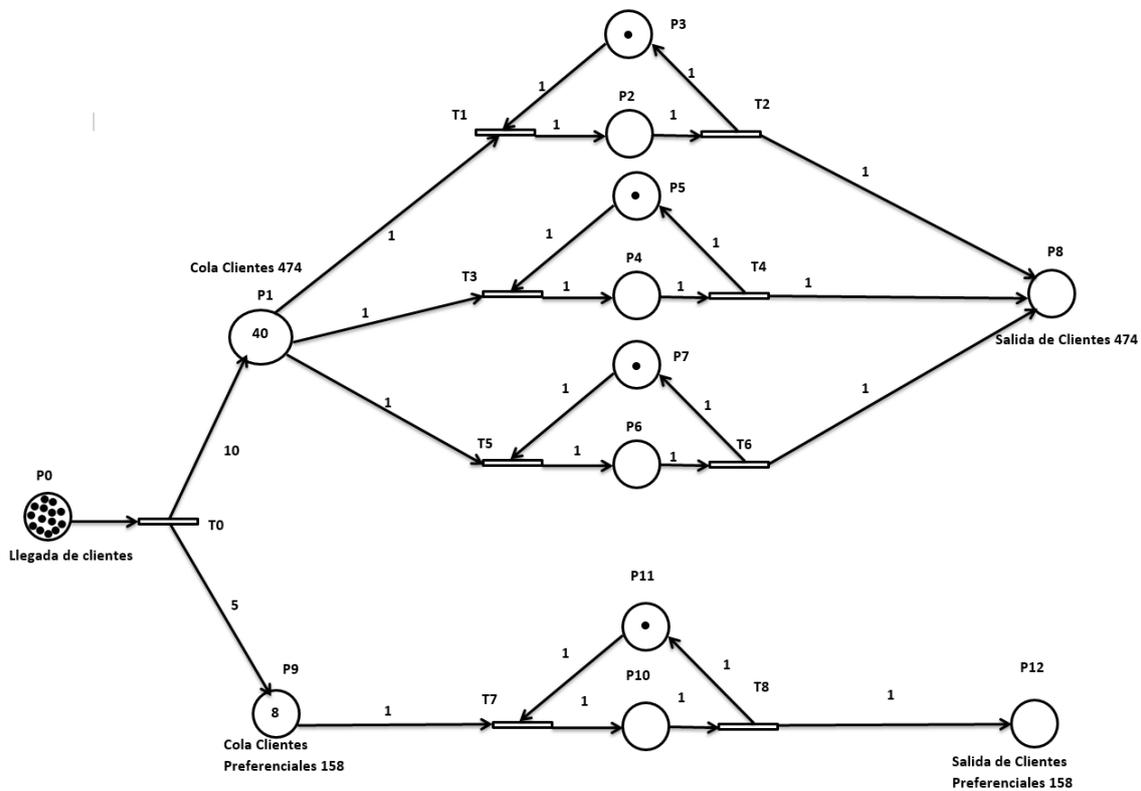
**Tabla 6.** Resultados de la simulación del proceso de atención bancaria mediante la herramienta *Bizagi*.

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tempo total
Sistema bancario de atención al cliente	Proceso	158	158	4m 35s	29m 34 s	7m 34s	19h 55m 55s
Inicio	Evento de inicio	158					
Preparar la papeleta	Tarea	311	311	1m 15s	1m 15s	1m 15s	6h 28m 45s
Solicitar una operación	Tarea	311	311	20s	20s	20s	1h 43m 40s
Atender al cliente	Tarea	311	311	40s	40s	40s	3h 27m 20s
Transcripción y verificación de datos	Tarea	311	311	50s	50s	50s	4h 19m 10s
Efectuar la transacción	Tarea	158	158	1m 30s	1m 30s	1m 30s	3h 57m
Datos correctos	Compuerta	311	311				
Fin	Evento de fin	158					

Fuente: Elaboración propia

La simulación del diagrama de atención bancaria realizada en *Bizagi* tuvo una duración de 7 horas 58 minutos 45 segundos, donde se completaron 158 instancia; esto quiere decir que en una ventanilla en promedio puede atender aproximadamente 158 clientes por día.

El diagrama de la *Figura 7* representa las actividades que se realizan en el sistema de atención bancaria desde que un cliente llega al banco hasta que sale del mismo luego de haber realizado su operación, y de acuerdo a la información del banco son: 3 ventanillas normales y una preferencial; por lo consiguiente la red del sistema de atención bancaria llevada al formalismo Rdp quedara como se muestra a continuación. Ver *Figura 8*.



*Figura 8.* Red del sistema de atención bancaria.  
Fuente: Elaboración propia

Como podemos notar la red del sistema de atención bancaria es muy fácil de interpretar, esta es una de las facilidades que brinda este tipo de formalismo Rdp, donde la red inicia con P0, que representa al lugar de llegada de los clientes al banco en una instancia de tiempo, seguido por un arco que nos direcciona hacia T0 que es la transición que nos da salida a P1 y P9 mediante un arco con peso de 10 y otro con peso de 5 respectivamente, este peso indica el número de Tokens(clientes) que pueden pasar por el arco simultáneamente, P1 representa al

lugar de la fila de los clientes normales y que tiene un almacenamiento de 40, lo que quiere decir que dentro de la fila para clientes normales pueden haber hasta 40 tokens(clientes); T1,T3 y T5 son transiciones que tiene como entrada a P1 y como salida a P2, P4, y P6 respectivamente, en este punto de la red cada uno de estos lugares y transiciones conforman un circuito triangular que representa a una maquina o persona que realiza una operación, por ejemplo los símbolos T2, P2, T3, P3, los 4 arcos que los unen y un tokens en P3 representan al trabajo de un operador que en este caso es una ventanilla del banco, como son 3 ventanillas normales la red muestra claramente las tres rutas que concluyen con la salida a P8 que es el lugar de salida de los clientes que ingresaron a la fila de P1 y realizaron su operación en una de las tres ventanillas; de mismo modo el lugar P9 representa a la fila de clientes preferenciales con una capacidad de almacenamiento de 8 Tokens(personas), seguida por T7, P10, T8, P11, los 4 arcos que los une y un tokens en P11 que representa el trabajo de una maquina o persona que realiza una operación, en este caso es la ventanilla de clientes preferenciales y por ultimo culmina con P12 que es el lugar de salida de los clientes preferenciales.

Cabe recalcar que cada máquina de la red del sistema de atención bancaria es la equivalencia de todas las actividades del diagrama de la *Figura 7*. Entonces cada máquina que se encuentra en la red es la representación de las ventanillas del banco donde el cliente acude a relajar sus operaciones o servicios.

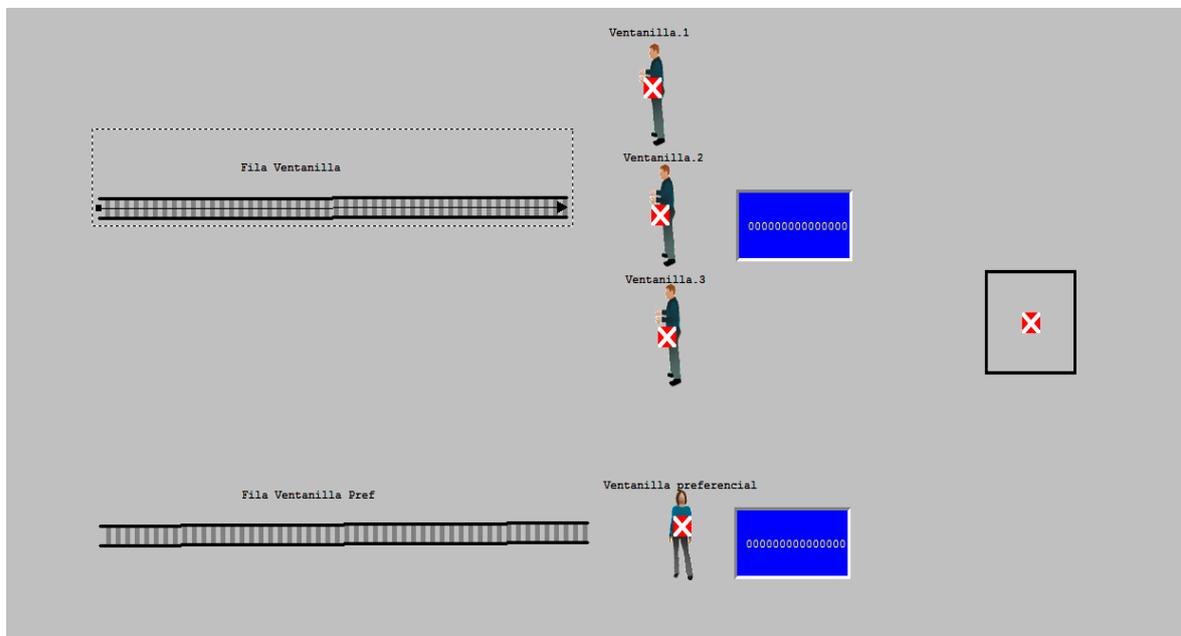
**Tabla 7.** Descripción de la red del sistema de atención bancario.

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>
<b>P0</b>	Primer lugar con n tokens (puntos negros).
<b>T0</b>	Primera transición con arco dirigido de P0 a T0.
<b>P1</b>	Segundo lugar con arco de peso 10 dirigido de T0 a P1.
<b>T1</b>	Segunda transición con arcos dirigido de P1 a T1 y P3 a T1.
<b>P2</b>	Tercer lugar con arco dirigido de T1 a P2.
<b>T2</b>	Tercera transición con arco dirigido de P2 a T2.
<b>P3</b>	Cuarto lugar con un tokens y con arco dirigidos de T2 a P3.
<b>T3</b>	Cuarta transición con arcos dirigido de P1 a T3 y P5 a T3.
<b>P4</b>	Quinto lugar con arco dirigido de T3 a P4.
<b>T4</b>	Quinta transición con arco dirigido de P4 a T4.
<b>P5</b>	Sexto lugar con un tokens y con arco dirigidos de T4 a P5.
<b>T5</b>	Sexta transición con arcos dirigido de P1 a T5 y P7 a T5.
<b>P6</b>	Séptimo lugar con arco dirigido de T5 a P6.
<b>T6</b>	Séptima transición con arco dirigido de P6 a T6.
<b>P7</b>	Octavo lugar con un tokens y con arco dirigidos de T6 a P7.

- P8** Noveno lugar con arcos dirigidos de T2 a P8, T4 a P8 y de T6 a P8
- P9** Décimo lugar con arco de peso 5 dirigido de T0 a P9.
- T7** Octava transición con arcos dirigido de P9 a T7 y P11 a T7.
- P10** Undécimo lugar con arco dirigido de T7 a P10.
- T8** Novena transición con arco dirigido de P10 a T8.
- P11** Duodécimo lugar con un tokens y con arco dirigidos de T8 a P11.
- P12** Decimotercer lugar con arco dirigidos de T8 a P12.

**Fuente:** Elaboración propia

Con el sistema de atención bancaria interpretado en un modelo matemático como se observa en la Figura 8, se puede proceder directamente a la simulación, pues esta herramienta de RdP brinda un método de modelado entendible que permite una fácil interpretación para ser llevado a la simulación.



*Figura 9.* Sistema de atención bancaria - ProModel.

Fuente: Elaboración propia

La *Figura 9* es la representación de la red del sistema de atención bancario llevado al ambiente del software *ProModel*, puesto en marcha la simulación del sistema de atención bancaria, programada de acuerdo a los datos anteriormente mencionado arroja los datos que muestra la siguiente gráfico. Ver *Figura 10*.

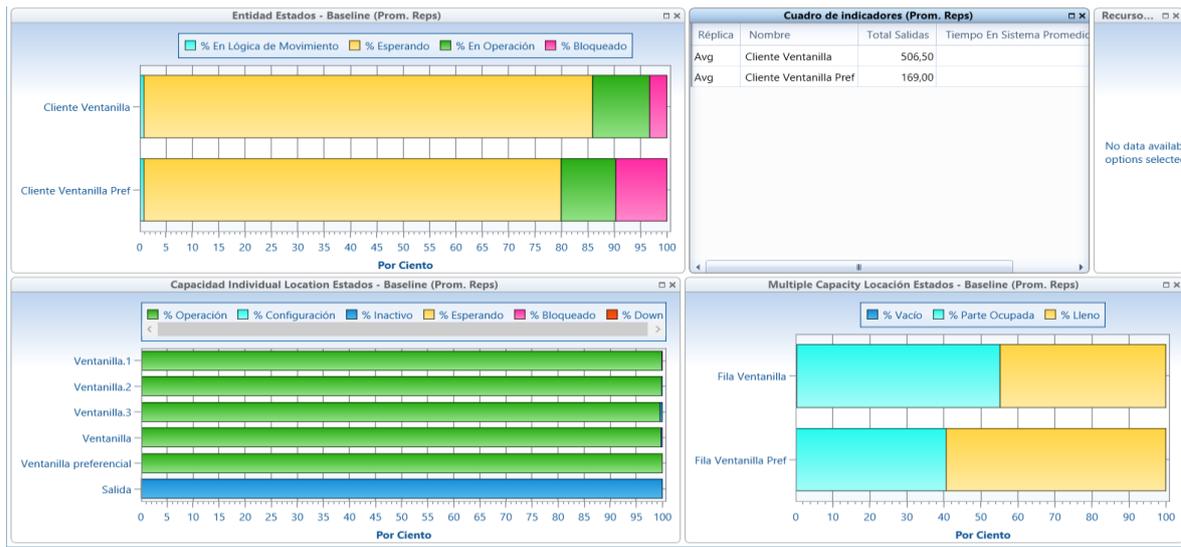


Figura 10. Resultados de la simulación del sistema de atención bancaria.  
Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se muestran en la figura anterior son los obtenidos al simular el sistema de atención bancario a través del software *ProModel*, a continuación, se detalla el análisis de la simulación:

1. El cuadro de indicadores muestra que fueron atendidos 506 clientes normales y 169 clientes preferenciales.
2. Dentro de los resultados de las entidades (clientes) se aprecia que más del 80% del tiempo que los clientes pasan en el banco en estado de espera, un 10% en operación y la diferencia en bloqueo y lógica de movimiento.
3. En la capacidad individual de los estados (ventanillas) se puede observar que el receptor o pagador pasa el 100% de su tiempo en operación, esto quiere decir que no se alcanzan para atender a todos los clientes que llegan a realizar una operación al banco.

De acuerdo a este análisis se puede concluir como mejora del sistema, que al implementar una nueva ventanilla se logrará disminuir el tiempo de espera y relativamente aliviar un poco el trabajo a los receptores o pagadores, logrando así atender un mayor número de clientes por día, aportando hacia una atención y servicio de calidad, que a su vez mejora la imagen institucional y reduce los costos operacionales por actividades innecesarias.

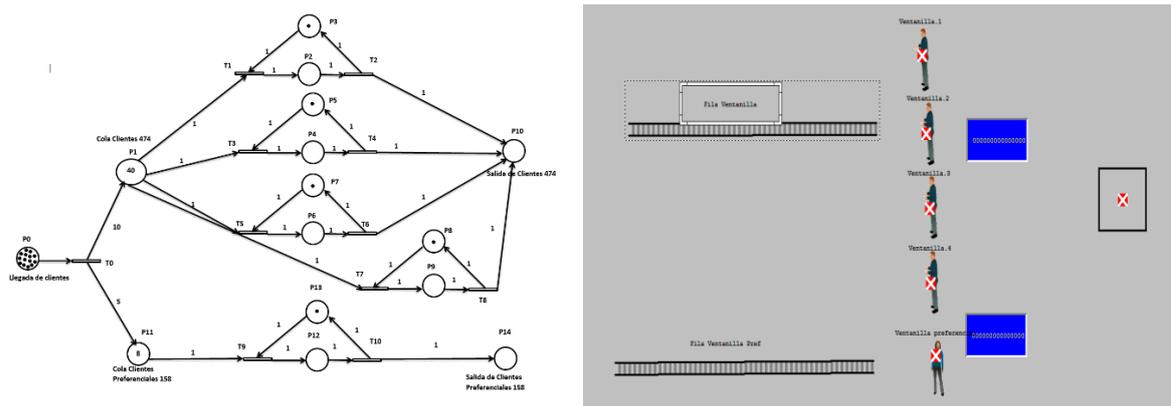


Figura 11. Reestructuración de la red y del modelo del sistema.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se observa reestructurada la red, donde se realizaron los cambios de mejora que se concluyó al analizar los datos arrojados en la simulación del sistema de atención bancaria; que en este caso fue aumentar una ventanilla adicional, una vez hecho los cambios se procedió a volver a ejecutar la simulación del sistema mostrando los resultados que se muestran en la siguiente gráfica. Ver Figura 12.

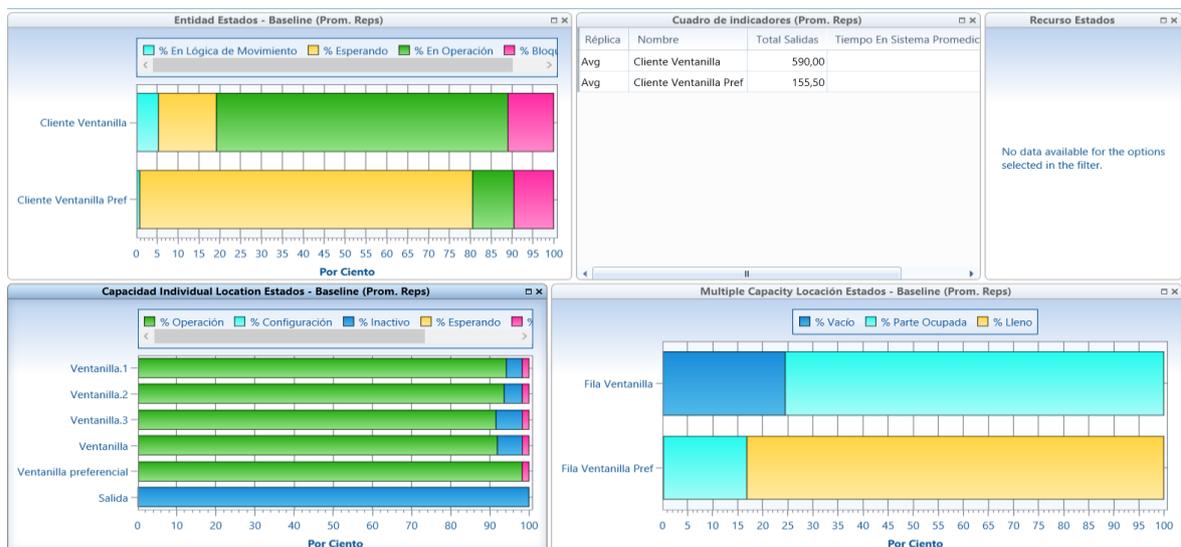


Figura 12. Resultado del sistema reestructurado.

Fuente: Elaboración propia

En esta última figura se puede observar con claridad el mejoramiento de los resultados, minimizando la espera de los clientes la cual se reduce notablemente a un 15%, del mismo modo incrementa el porcentaje del cliente en operación a un 65% y a su vez las ventanillas tienen una participación más favorable ocupando entre el 90 y 95% en operación, permitiendo estos resultados atender a un mayor número de clientes por día y a su vez

disminuyendo su tiempo de espera, favoreciendo al banco en su sistema de atención bancaria, mismo que podrá brindar un rápido y mejor servicio para sus clientes.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES

A la hora de desarrollar sistemas de eventos discretos es necesario que los ingenieros en software conozcan de herramienta o formalismo que permitan realizar un buen modelo para ser llevado a la simulación, pues hay que tener claro que para desarrollar un buen sistema este primeramente debe ser modelado y simulado, en este estudio se demostró la efectividad de utilizar el formalismo de RdP para el modelado y la herramienta *ProModel* para la simulación, las cuales permitieron realizar un análisis de los resultados y a su vez realizar una mejora del sistema antes de que este sea llevado a la codificación. Esta misma metodología puede ser llevada a grandes sistemas de carácter discreto como por ejemplo un sistema ferroviaria a escala con una interfaz gráfica para ser controlado en lazo abierto y de acuerdo al estudio de Beltran, Orozco, Gonzalez, Garcia, y Calderon (2011) expresa la ventaja de realizar un prototipo del sistema ferroviario tomado como ejemplo, que es: “simular el comportamiento de sistemas reales y con el uso de éstos se reduzcan los riesgos que puedan afectar a las máquinas y la infraestructura de los sistemas reales. También se minimiza el riesgo de pérdidas humanas” (p5). Ventajas suficientes para el uso de estas herramientas antes de desarrollo o mejoramiento de un sistema de carácter discreto.

El trabajo concluye con el desarrollo del modelado y simulación de un sistema de atención bancaria, donde se logró aprovechar las ventajas de modelar con el formalismo RdP y simular con el software *ProModel*. En primera instancia se interpreta el sistema de atención bancaria en modelo matemático usando redes de petri (Figura 8), mismo que fue llevado e interpretado por *ProModel* y una vez realizada la simulación se obtuvo como resultado que: a) Fueron atendidos 506 clientes normales y 169 clientes preferenciales, b) Las entidades (clientes) pasan más del 80% en estado de espera, un 10% en operación y la diferencia entre bloqueo y lógica de movimiento; y, c) La capacidad individual de los estados (ventanillas) pasan el 100% de su tiempo en operación. Al analizar estos resultados se propone una mejora que ayudara a disminuir el tiempo de espera de las entidades clientes, aliviar el trabajo de los estados (ventanillas) y atender un mayor número de clientes por día, esta mejora consistió en aumentar una ventanilla más dentro del sistema de atención bancaria (Figura 11) y luego de su simulación arrojó los resultados esperados anteriormente mencionados, que

permitted to decrease the waiting time of customers to 15%, to alleviate the work of the states (windows) by 90 and 95 percent and to attend a greater number of customers 590 (Figure 12). It should be highlighted that this was done before the system was coded because it is easier and less expensive to modify it in the modeling part than once the software is completed.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baquero, L., Luis, A., & Febe, C. (2016). Metodo para el modelado y prueba de diagramas de caso de uso mediante redes de petri. *Ciencias Informaticas*, 139.
- Beltran, E. R., Orozco, J., Gonzalez, M., Garcia, P., & Calderon, J. (2011). Diseño, Construccion y Modelo Matematico de un Sistema Ferroviario a Escala basado en Redes de Petri Interpretadas. *Conciencia Tecnologica*, 5-12.
- Castellano, C. (2006). Consideraciones para el modelado de sistemas mediante Redes de Petri. *Ciencia e Ingenieria*, 49.
- Castellanos, J. (2008). Sistemas a Eventos discretos, una aproximacion a la teoria de redes de Petri y GRAFCET. Nueva Granada.
- Garcia, E., Garcia, H., & Cardenas, L. (2006). *Simulacion y analisis de sistemas con ProModel*. Pearson Educacion.
- Hernandez, S. R. (2014). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Huayna Ana, C. A. (2009). Aplicacion de las redes de Petri a la simulacion discreta de sistema. *Revista de ingenieria de Sistemas e Informatica vol. 6, N.º 2*, 35-44.
- IOSA. (2016). *iosa*. Obtenido de <http://iosa.com.pe/promodel/>
- Medina, J., Seck, J., & Hernandez, N. (2013). Aplicacion de las redes de Petri en la modelacion de sistemas de eventos discretos. *Boletin Cientifico*.
- Morales, A., Rojas, J., Hernandez, L., Morales, A., & Jimenez, M. (2015). Modelo de un sistema de produccion esbelto con redes de petri para apoyar la toma de decisiones. *Chilena de Ingenieria*, 183.
- Murata, T. (1989). Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. *Proceedings of the IEEE*, 77(4), 541-580.
- Murillo, L. (2008). Redes de Petri: Modelado e implementacion de algoritmos para autómatas programables. *Tecnologia en marcha*, 104-105.
- Petri, C. A. (1962). Kommunikation mit Automaten. Institut fur Instrumentelle Mathematik.
- Piera, M. (2002). *Modelado y Simulacion*. Universitat Politecnica de Catalunya.
- Piré, T., Bergero, F., & Kofman, E. (2010). Modelado y simulacion de redes de petri con el formalismo DEVS. *AADECA*.
- Tarifa, E. E. (1999). *Teoría de Modelos y Simulación*. Universidad Nacional de Jujuy.