

Multiserver Service Optimization Based on Mathematical Simulation

Kleber Barcia Villacreses, Ph. D.

Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, kbarcia@espol.edu.ec

Nadia Cárdenas Escobar, MOL

Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, ncardena@espol.edu.ec

Victor Gonzalez Jaramillo, Ph. D.

Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, vgonzal@espol.edu.ec

Abstract– This paper proposes optimizing a process, to reduce the service time credit of an electrical appliances store, based on mathematical simulation and visualized via industrial simulation software. The proposal is to reduce the customer time and increase the number of credit approvals to increase income from sales, as well as propose improvements through the implementation of technology or redistribution of activities that help in this regard. First is presented the current scenario with all the activities that are performed daily and the shortcomings that may exist, this is accomplished with the help of statistical distributions. Then is verified and validated the current scenario and developed new scenarios to choose those that improve the current situation. Three scenarios that help to increase the number of credit approvals were found. Finally is proven by statistical analysis which scenario optimizes the number of approvals and decreases the customer service time on some activities.

Key Words: Simulation model, cycle time reduction, optimization, credit approval increasing, waiting time reduction

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.059>
ISBN: 978-0-9822896-9-3
ISSN: 2414-6390

Optimización del Servicio de Multiservidores Basado en Simulación Matemática

Kleber Barcia Villacreses, Ph. D.

Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, kbarcia@espol.edu.ec

Nadia Cárdenas Escobar, MOL

Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, ncardena@espol.edu.ec

Victor Gonzalez Jaramillo, Ph. D.

Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, vgonzal@espol.edu.ec

Abstract– This paper proposes optimizing a process, to reduce the service time credit of an electrical appliances store, based on mathematical simulation and visualized via industrial simulation software. The proposal is to reduce the customer time and increase the number of credit approvals to increase income from sales, as well as propose improvements through the implementation of technology or redistribution of activities that help in this regard. First is presented the current scenario with all the activities that are performed daily and the shortcomings that may exist, this is accomplished with the help of statistical distributions. Then is verified and validated the current scenario and developed new scenarios to choose those that improve the current situation. Three scenarios that help to increase the number of credit approvals were found. Finally is proven by statistical analysis which scenario optimizes the number of approvals and decreases the customer service time on some activities.

Keywords -- Simulation model, cycle time reduction, optimization, credit approval increasing, waiting time reduction.

Resumen- En este paper se plantea optimizar un proceso, para reducir el tiempo de atención de crédito de un almacén de electrodomésticos, basado en simulación matemática y visualizado a través de un software de simulación industrial. La propuesta consiste en reducir el tiempo de atención al cliente y aumentar el número de aprobaciones de crédito para incrementar el ingreso por ventas, además de proponer mejoras mediante la implementación de tecnología o redistribución de actividades que ayuden a este propósito. Primero se representa el escenario actual con todas las actividades que se realizan diariamente y las falencias que puedan existir, esto se logra con la ayuda de distribuciones estadísticas que mejor se ajusten al comportamiento de los datos reales. Después se verifica y valida el escenario actual y se procede a desarrollar escenarios futuros para escoger los que mejoran la situación actual. Se encontraron tres escenarios que ayudan a incrementar el número de aprobaciones de crédito. Finalmente se comprueba mediante análisis estadístico cuál de los escenarios encontrados optimiza el número de aprobaciones y disminuye el tiempo de atención al cliente de forma general o el tiempo de espera en algunas actividades.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.059>
ISBN: 978-0-9822896-9-3
ISSN: 2414-6390

Palabras Claves -- Modelo de simulación, reducción del tiempo de ciclo, optimización, incremento de aprobaciones de crédito, reducción del tiempo de espera.

I. ANTECEDENTES

A. Generalidades

Los clientes no se sienten satisfechos en las compras de un supermercado, farmacia, almacén de electrodomésticos y en general en todo punto de venta o cobranza. Las largas filas y eternos minutos de espera hasta que una persona sea atendida, son los malestares que los clientes sienten al momento de realizar un pago o aplicación a un crédito. Producto de esto, se produce una mala imagen de la empresa y en algunos casos provoca la pérdida de ventas.

Existen varias implementaciones que las empresas han adoptado para reducir los tiempos de atención al cliente, los que sirven para satisfacer la demanda del momento, pero cuando crece la demanda estas implementaciones se hacen obsoletas. De esta forma se convierte en un círculo vicioso en el que las empresas adoptan soluciones transitorias que no prevalecen a través del tiempo.

B. Objetivos

1) Objetivo General

Optimizar el servicio al cliente mediante el mejoramiento de las actividades de este proceso, la reducción del tiempo de atención y el aumento de créditos aprobados en un almacén de electrodomésticos utilizando simulación matemática.

2) Objetivos Específicos

- Crear un modelo de simulación de la atención al cliente para la aprobación de crédito para los diferentes escenarios propuestos.

- Reducir el tiempo de aprobación de un crédito.
- Aumentar el número de créditos aprobados, lo que representa mayor ingreso para la empresa.
- Proponer la implementación de tecnología o redistribución de actividades para reducir tiempos de atención y variabilidad de los datos.
- Establecer el escenario óptimo para las condiciones necesarias para satisfacer al cliente al momento que él solicite un crédito.

C. Definición del Problema

El proceso de crédito inicia cuando el cliente ingresa la solicitud al departamento de crédito. El analista envía, al iniciar el día, un informe del número de solicitudes a procesar. Paralelamente envía los croquis al verificador de terreno para que verifiquen si el domicilio indicado en la solicitud es correcto y que tenga habitándolo por lo menos 3 años ininterrumpidos. Luego, procede a verificar los datos personales en las bases de datos como son: registro civil, central de riesgo y base de lista negra (deudores), además realiza las llamadas de verificación de las referencias personales. La política comercial del almacén indica que la aprobación de un crédito tarda 24 horas y la intención de los directivos es de reducir este tiempo a tal modo que el cliente pueda llevarse el producto el mismo día que ingresó la solicitud, pues actualmente el cliente tiene que llamar o regresar al almacén al día siguiente.

D. Estructura del Proyecto

Este proyecto se encuentra dividido en 7 secciones que aportan con el desarrollo del mismo. En el Fig. 1 se presenta un esquema del contenido de cada una de las secciones.

E. Macro-proceso, Procesos y Sub-Procesos

La compra de un electrodoméstico está definido como el macro-procesos que comprende cuatros procesos:

- Cotización
- Crédito
- Facturación
- Entrega de artículo

Este proyecto se enfocó en el proceso de Crédito nuevo, que tiene los subprocesos que se analizan en la siguiente sección.

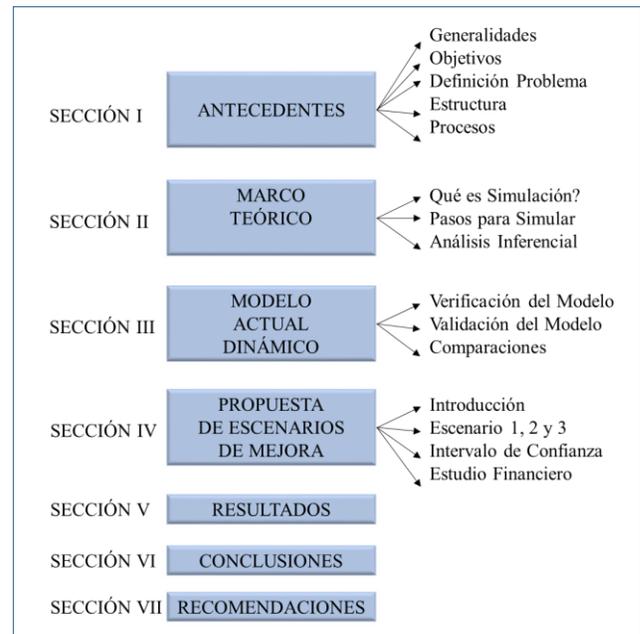


Fig. 1 Esquema del Proyecto

II. MARCO TEÓRICO

A. ¿Qué es Simulación?

Una simulación es una imitación de la operación de un proceso o sistema real a lo largo del tiempo [1].

Los modelos de simulación estudian el comportamiento de los sistemas y sus cambios a través del tiempo

B. Pasos para Realizar una Simulación [1]

- Formulación del problema
- Objetivos y plan del proyecto
- Conceptualización del modelo apropiado
- Recolección de datos
- Interpretación del modelo
- Verificación
- Validación
- Diseño experimental real
- Experimentación
- Documentación y reporte
- Implementación

C. Análisis Inferencial e Identificación de Elementos del Modelo de Simulación

El modelo conceptual del proceso de Crédito está representado en la Tabla 1.

TABLA 1
PROCESO DE CRÉDITO

PROCESO	SUBPROCESOS	INICIO	FIN
CRÉDITO	ENVIO DE MAIL	Analista recibe la solicitud de crédito vía email o físico.	Analista envía mail con solicitudes a procesar en el día.
	REVISIÓN EN BASE DE DATOS	Inicia verificación en bases de datos para conocer situación financiera del cliente.	Fin de verificación en bases de datos para conocer situación financiera del cliente.
	LLAMADAS	Inicia llamadas de referencias personales.	Fin llamadas de referencias personales.
	INGRESO AL SISTEMA	Ingreso de solicitud al sistema de crédito.	Fin del ingreso de solicitud al sistema de crédito.
	VERIFICACIÓN DE TERRENO	Entrega de croquis al verificador de terreno.	Verificador envía las verificaciones con sus estados.
	ANÁLISIS DE DATOS Y APROBACIÓN	Inicia análisis de los datos por parte del analista de crédito.	Analista envía mail a vendedores con respuesta de solicitud.

A continuación se procede a identificar las variables que se utilizan para realizar la simulación del proceso de crédito. Las variables fueron identificadas por observación del proceso real.

Proceso de Crédito Nuevo

- Tiempo entre arribo de solicitudes
- Tiempo de envío de mail
- Tiempo de central de riesgo
- Tiempo de realizar llamadas
- Tiempo de ingreso al sistema
- Tiempo de verificación de terreno
- Tiempo de análisis y aprobación de crédito.

En este proceso existen tiempos entre actividades que también fueron calculados y que serán colocados como variables:

- Tiempo antes de central de riesgo
- Tiempo de otras actividades antes de llamadas
- Tiempo de otras actividades antes de ingresar al sistema
- Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de las distribuciones de los tiempos antes mencionados que se obtuvieron después de aplicar las pruebas estadísticas de Anderson Darling y Kolmogorov [2] [3].

TABLA 2
DISTRIBUCIONES DE VARIABLES

VARIABLE	DISTRIBUCIÓN PARÁMETROS EN MIN
Tiempo entre arribos de solicitudes	Exponencial (55.8)
Tiempo de envío de mail	Distribución personalizada. Ver $f(x)_1$
Tiempo de central de riesgo	Lognormal (1.34, 0.77)
Tiempo de realizar llamadas	Lognormal (0.72, 0.67)
Tiempo de ingreso al sistema	Lognormal (1.13, 0.58)
Tiempo de verificación de terreno.	Distribución personalizada. Ver $f(x)_2$
Tiempo de análisis y aprobación de crédito.	Distribución personalizada. Ver $f(x)_3$
Tiempo antes de central de riesgo	Exponencial (56.88)
Tiempo de otras actividades antes de llamadas.	Distribución personalizada. Ver $f(x)_4$
Tiempo de otras actividades antes de ingresar al sistema.	Lognormal (3.06, 1.79)
Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis.	Distribución personalizada. Ver $f(x)_5$

$$f(x)_1 = \begin{cases} 0.60; & 1 \leq x < 2 \\ 0.24; & 2 \leq x < 3 \\ 0.16; & x = 3 \end{cases}$$

$$f(x)_2 = \begin{cases} 0.24; & 269 \leq x < 346 \\ 0.04; & 346 \leq x < 423 \\ 0.32; & 423 \leq x < 500 \\ 0.28; & 500 \leq x < 577 \\ 0.04; & 577 \leq x < 654 \\ 0.08; & 654 \leq x < 731 \end{cases}$$

$$f(x)_3 = \begin{cases} 0.72; & 0 \leq x < 1 \\ 0.20; & 1 \leq x < 2 \\ 0.08; & 2 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

$$f(x)_4 = \begin{cases} 0.72; & 0 \leq x < 7 \\ 0 & ; 7 \leq x < 14 \\ 0 & ; 14 \leq x < 21 \\ 0 & ; 21 \leq x < 28 \\ 0 & ; 28 \leq x < 35 \\ 0.12; & 35 \leq x < 42 \\ 0.04; & 42 \leq x < 49 \\ 0.12; & 49 \leq x < 56 \end{cases}$$

$$f(x)_5 = \begin{cases} 0.76; & 0 \leq x < 22.5 \\ 0 & ; 22.5 \leq x < 45 \\ 0 & ; 45 \leq x < 67.5 \\ 0 & ; 67.5 \leq x < 90 \\ 0 & ; 90 \leq x < 112.5 \\ 0.08; & 112.5 \leq x < 135 \\ 0.08; & 135 \leq x < 157.5 \\ 0.08; & 157.5 \leq x < 180 \\ 0.08; & 180 \leq x < 202.5 \end{cases}$$

III. MODELO ACTUAL DINÁMICO

En base al modelo conceptual, a las variables identificadas y a las acciones lógicas representadas en la Fig. 2, se desarrolla el modelo simulado del proceso de crédito actual, ver Anexo A [4].

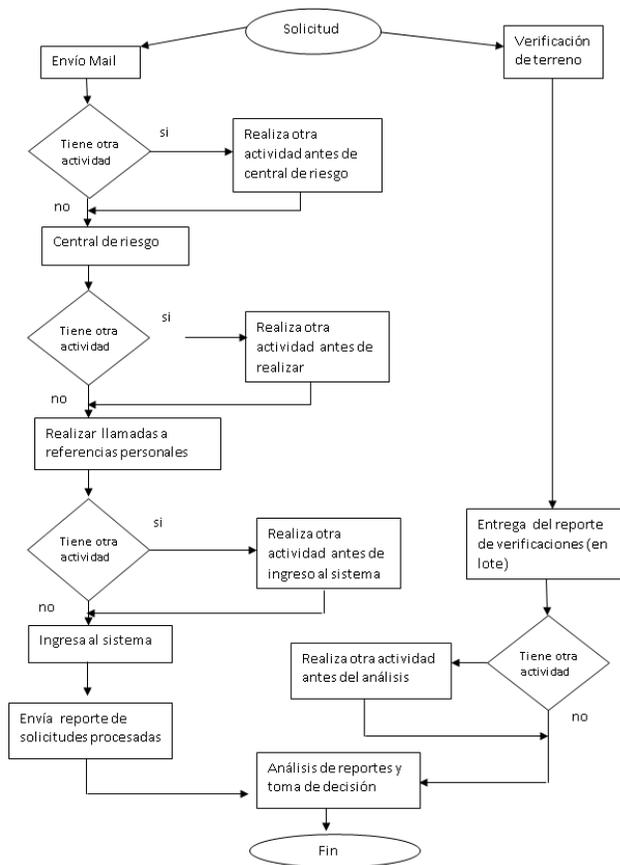


Fig. 2 Acciones Lógicas del Proceso Actual

A. Verificación del Modelo

La verificación del modelo consistió en [1]:

- Hacer revisar el modelo de otro experto.
- Hacer un diagrama de flujo que incluya las posibles acciones lógicas que el sistema pueda realizar cuando ocurra un evento.

Revisión de un experto quien examinó varias veces el modelo y que aportó de acuerdo a su experiencia en esta área.

Verificación de las acciones lógicas de las actividades o eventos dentro de la simulación, es decir que el funcionamiento del sistema sea lo más parecido al real. Para esto se utilizó el diagrama de la Fig. 2 comparándolo con la simulación actual.

B. Validación del Modelo

Es importante mencionar que ningún modelo es una representación perfecta de un sistema y es el moderador quien debe considerar entre mejorar la exactitud del modelo versus el costo del esfuerzo de continuar la validación [1].

Los pasos para la validación del modelo fueron:

- Construir un modelo realista.
- Validar las asunciones del modelo.
- Comparar las transformaciones en la entrada-salida del modelo con los datos del sistema real.

Al construir un modelo realista se debe asegurar de un alto grado de realismo.

Para validar las asunciones del modelo se debe mencionar que existen dos tipos de asunciones:

1. **Estructurales:** Como opera el sistema.
2. **De datos:** Precisión de los datos y sus consideraciones estadísticas.

Las asunciones estructurales que se realizaron para este modelo son:

- Cola antes de entregar las verificaciones a procesar al verificador de terreno.
- Cola de reportes entregados, estos son los reportes que entregan los analistas y que se mantienen en espera mientras el jefe de crédito no los analice junto con las verificaciones de crédito.
- Cola de verificaciones entregadas, representa las solicitudes verificadas que el verificador de terreno ha entregado para que sean procesadas por el jefe de crédito pero se mantienen en espera hasta que el jefe de crédito de trámite.

Las asunciones de datos que se hizo para elaborar este modelo de simulación son:

- Tiempo entre arribos de solicitudes de crédito nuevo, para la que se halló una distribución que mejor se ajuste al comportamiento de estos datos.
- Tiempo de verificaciones de terreno, este tiempo es considerado muy importante pues esta actividad es vital para la aprobación de un crédito. Se encontró una distribución personalizada para este tiempo pues presentó una alta variabilidad.
- Tiempo de análisis de jefe de crédito, este tiempo corresponde a la última actividad antes de aprobar un crédito que está a cargo del jefe de crédito, para la que se aplicó una distribución personalizada a sus datos.

Finalmente, para validar el modelo actual se debe comparar los resultados de la simulación con los datos del sistema real (2.38 créditos aprobados por día), a través de la variable de interés “*número de créditos aprobados en un día de trabajo*” que se denotará como Y.

Se realizó la simulación para el proceso de crédito correspondiente a 1 día con 6 repeticiones (n = 6) y se procedió a aplicar la **prueba t-student** para un valor de μ con muestras pequeñas, que define las siguientes hipótesis:

$$H_0: E(Y) = 2.38 \text{ solicitudes}$$

$$H_a: E(Y) \neq 2.38 \text{ solicitudes}$$

El supuesto para esta prueba consiste en afirmar que Y proviene de una distribución normal con media desconocida μ y varianza desconocida σ [2].

Se procedió a realizar un análisis estadístico mediante la prueba t-student, para demostrar la hipótesis [1]:

$$|t_0| = \frac{|\bar{y} - \mu_0|}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{|3.00 - 2.38|}{\frac{1.67}{\sqrt{6}}} = 0.915 \quad (1)$$

Donde \bar{Y} y S se expresan como sigue:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i = 3.00 \text{ créditos aprob.} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} = 1.67 \text{ créditos aprob.} \quad (3)$$

Para determinar la región de rechazo se toma el valor de la distribución t-student tomando $\alpha=0.05$ (para dos colas) y con grados de libertad 5. El valor obtenido es:

$$t_{\alpha/2, n-1} = 2.57 \text{ (para dos colas)} \quad (4)$$

Por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula.

Ahora se necesita saber que tan fuerte es el modelo para considerarlo válido, para esto se aplicó la **Potencia de Prueba**.

$$PP = (1 - \beta) \quad (5)$$

Donde β es la probabilidad de aceptar un modelo como válido cuando es inválido.

A mayor PP, más fuerte es el modelo.

Se procedió a encontrar el número de réplicas necesarias para un $PP \geq 0.90$ [1]:

Como primer paso se calculó δ tal que el valor de \bar{Y} difiera de μ en 1 unidad.

$$\delta = \frac{|E(\bar{Y}) - \mu|}{\sigma} = \frac{1}{1.67} = 0.60 \quad (6)$$

Luego, con el valor de δ , $\beta = 0.1$ y la tabla de las Curvas Características de Operación (OC Curve), se obtuvo el número de réplicas (número de días) que debe correr el modelo para que se lo considere validado siempre que cumpla con la prueba t-student [5]. Dando como resultado $n = 40$

Finalmente se volvió a aplicar la prueba t-student con $n = 40$ para un $\alpha=0.05$ (para dos colas). Usando (1), (2), (3) y (4) se obtuvo:

$$\begin{aligned} |t_0| &= 1.50 \\ \bar{Y} &= 2.75 \\ S &= 1.58 \\ t_{\alpha/2, n-1} &= 1.96 \end{aligned}$$

Como se observa el valor del estadístico es menor que 1.96 por lo tanto no existe evidencia estadística suficiente para considerar el modelo inválido y se lo acepta como válido.

El modelo validado permite observar los siguientes problemas existentes en el proceso real:

Cola en el Buffer verifica: Solicitudes pendientes a procesar por el verificador de terreno.

Cola en Verificaciones_entregadas: Solicitudes acumuladas que el verificador entregó pero el Jefe de crédito tiene pendiente de procesar.

Retraso en otras_act_antes_análisis: Retraso en análisis de créditos debido a otras actividades antes de análisis del jefe de crédito.

Cola en reportes_entregados: Solicitudes entregadas y analizadas por los analistas y están pendientes de aprobación del jefe de crédito.

Cola en Bf_1: Solicitudes acumuladas pendientes de realizar la actividad de central de riesgo para el analista A.

Cola en Bf_2: Solicitudes acumuladas pendientes de realizar la actividad de central de riesgo para el analista B.

IV. PROPUESTAS DE ESCENARIOS DE MEJORA

A. Introducción

En este capítulo se proponen tres escenarios de mejoras para el modelo de simulación dinámico que se validó en el capítulo anterior.

B. Escenario 1

El primer escenario propuesto contiene dos cambios que son:

1. Reducción en el **Tiempo antes de central de riesgo**. Se realizó un estudio de tiempos y movimiento de las actividades de la central de riesgos y del jefe de crédito, reduciendo los tiempos y logrando que algunas actividades de central de riesgo pasen al jefe de crédito. Esto permitió reducir en un 40% las actividades que realiza el analista antes de revisar los datos de la solicitud en las bases de central de riesgo. El tiempo disminuyó de 56.88 min a 34.33 min.
2. Reducción del **Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis** del jefe de crédito. El cambio anterior permitió que este tiempo se reduzca a 23.80 min en promedio, a pesar que aun persistía el problema del verificador.

C. Escenario 2

Para el escenario 2, partiendo del escenario original se definieron dos cambios que se detallan a continuación:

1. Aumento de un verificador a medio tiempo. Este verificador ayudará desde las 13h00 hasta las 18h00, cubriendo sectores que tiene a su cargo el verificador de

tiempo completo. De esta manera liberará parte de la carga al verificador de terreno.

2. Reducción del **Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis** del jefe de crédito. Siendo esta la misma propuesta del primer escenario con un estudio de tiempos y movimiento de las actividades del jefe de crédito.

D. Escenario 3

Para el escenario 3 se consideró la combinación de los 2 escenarios anteriores:

1. Reducción en el **Tiempo antes de central de riesgo**.
2. Reducción del **Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis** del jefe de crédito.
3. Aumento de un verificador a medio tiempo.

E. Estimación del Intervalo de Confianza de la Diferencia de Medias para Escoger la Mejor Propuesta

1) Cálculo del Número de Réplicas

Se tomó la variable de interés “*número de créditos aprobados en un día de trabajo*” para realizar el cálculo de número de réplicas y para la elección de uno de los escenarios propuestos. Existe una segunda variable de interés que es el “*número de verificaciones entregadas*” que también será considerada para este análisis.

Se realizó primero una muestra inicial de réplicas como se lo hizo en el capítulo 3 (para la validación del modelo), es decir con tamaño muestra 6 para el proceso actual y los 3 escenarios.

En este caso R es igual a 6 y se determinó que la desviación estándar para cada escenario son los valores que aparecen en la Tabla 3.

TABLA 3
DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CADA ESCENARIO

ESCENARIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR CRÉDITOS APROBADOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR VERIFICACIONES ENTREGADAS
Actual	7.36	63.25
Primero	8.29	22.46
Segundo	7.79	0.41
Tercero	10.07	77.15

Se calculó el R mínimo (R_{\min}) y el R final (R), es decir el número de réplicas que se necesita para tener un intervalo de confianza válido para comparar todos los escenarios.

Se definen la siguientes fórmulas para calcular el R_{\min} y R [1].

$$R_{\min} \geq \left(\frac{z_{\alpha/2} S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (7)$$

Donde:

- S_0 : desviación estándar inicial
- α : nivel de confianza
- ε : error definido (una unidad para este proyecto)
- $Z_{\alpha/2}$: valor de la distribución normal estándar

$$R \geq \left(\frac{t_{\alpha/2, R-1} S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (8)$$

Donde:

- $R-1$: grados de libertad ($R_{\min} - 1$)
- $t_{\alpha/2, R-1}$: valor de la distribución t-student

Se calculó el R para cada escenario que se muestra en la tabla 4:

TABLA 4
RESULTADOS DE R POR ESCENARIO

ESCENARIO	VARIABLE: CRÉDITOS APROBADOS	VARIABLE: VERIFICACIONES ENTREGADAS
Actual	11	38
Primer	14	22
Segundo	12	6
Tercer	19	40

Finalmente, se toma el mayor valor de R final de la tabla 4, es decir, el R escogido es igual a 40 que corresponde a la variable “*número de verificaciones entregadas*”, por lo tanto se realizaron 34 réplicas más en todos los escenarios.

2) Cálculo de Intervalo de Confianza de la Diferencia de Medias

El cálculo se realizó en base a 40 réplicas de 50 días de trabajo cada réplica. Los resultados mostraron que el número de créditos aprobados y el número de verificaciones entregadas difieren entre la simulación del proceso actual y las propuestas. Sin embargo, es necesario verificar si realmente existen cambios estadísticamente significativos en las variables de respuesta. Se utilizó el método de Bonferroni para calcular el intervalo de confianza de la diferencia de medias del modelo actual con los modelos propuestos [1] [6] [7].

$$\bar{D}_i - t_{\alpha_i/2, R-1} se \left(\bar{D}_i \right) \leq \theta_1 - \theta_i \leq \bar{D}_i + t_{\alpha_i/2, R-1} se \left(\bar{D}_i \right) \quad (9)$$

Donde:

- D_i : diferencia entre el escenario i y el escenario actual.
- $\alpha_i/2$: nivel de confianza dividido para el número de escenarios (para dos colas)
- $t_{\alpha_i/2, R-1}$: valor de t-student para nivel de confianza $\alpha_i/2$ y $R-1$ grados de libertad.
- se : Error estándar

El error estándar se define como sigue:

$$s.e.(\bar{D}) = s.e.(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) = \frac{S_D}{\sqrt{R}} \quad (10)$$

Donde:

$$S_D^2 = \frac{1}{R-1} \sum_{r=1}^R (\bar{D}_r - \bar{D})^2 \quad (11)$$

$$D_r = Y_{r1} - Y_{r2} \quad (12)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R D_r \quad (13)$$

Luego de los cálculos se obtuvo los intervalos de confianza de la diferencia de medias:

Para la variable “*número de créditos aprobados*”

Escenario 1: $72.96 < \Theta_2 - \Theta_1 < 89.35$

Escenario 2: $18.77 < \Theta_3 - \Theta_1 < 33.44$

Escenario 3: $83.35 < \Theta_4 - \Theta_1 < 97.70$

El análisis de la comparación de los modelos afirma que si el intervalo de confianza está a la derecha del cero, existe fuerte evidencia que la hipótesis $H_0: \theta_2 - \theta_1 > 0$, es decir, $\theta_2 > \theta_1$. Por lo tanto todos los escenarios son mejores que el escenario actual y generan un mayor número de créditos aprobados.

Para la variable “*número de verificaciones entregadas*” el resultado es similar, por lo tanto todos los escenarios difieren del escenario actual y son válidos.

Finalmente se escoge el escenario 3 ya que fue la mejor propuesta en el análisis de la variable de créditos aprobados y por ser esta la variable de mayor importancia en el proceso. Ver Anexo 2.

F. Estudio Financiero

Luego de realizar el estado de resultado se observó que al incrementarse la venta de unidades de 157 a 246 después de implementaciones y costos incurridos, la utilidad sería 4 veces mayor que la del proceso actual, el costo de los cambios no representa un monto muy significativo comparándose con el monto de ventas que se incrementaría al aplicar los cambios propuestos.

Dado que las réplicas realizadas para la simulación fueron de 50 días acumulados se transformó este valor a unidades anuales. El estado de pérdidas y resultados presenta comparaciones anuales. De esta forma, las unidades del proceso actual son equivalentes a 1,136 solicitudes aprobadas en promedio anual, ver Tabla 5. El mismo cálculo se realizó para las unidades del modelo mejorado del que se obtuvo 1,791 solicitudes aprobadas en promedio, ver Tabla 6.

TABLA 5
ESTADO DE RESULTADOS Y PÉRDIDAS. PROCESO ACTUAL

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
Precio promedio de venta	890	979	1,077
Costo unitario de venta	356	392	431
Unidades vendidas	1,136	1,250	1,375
Ingresos por ventas	1,011,040	1,223,358	1,480,264
Costos de ventas	404,416	489,343	592,105
Utilidad bruta	606,624	734,015	888,158
Costos y Gastos			
Sueldos y salarios	186,240	204,864	225,350
Comisiones	202,208	244,672	296,053
Gastos administrativos	15,200	15,960	16,758
Servicios básicos	130,800	137,340	144,207
Otros gastos	10,000	10,000	10,000
Total Costos y Gastos	544,448	612,836	692,368
UTILIDAD NETA	62,176	121,179	195,790

TABLA 6
ESTADO DE RESULTADOS Y PÉRDIDAS. PROCESO MEJORADO

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
Precio promedio de venta	890	979	1,077
Costo unitario de venta	356	392	431
Unidades vendidas	1,791	1,970	2,167
Ingresos por ventas	1,593,990	1,928,728	2,333,761
Costos de ventas	637,596	771,491	933,504
Utilidad bruta	956,394	1,157,237	1,400,256
Costos y Gastos			
Sueldos y salarios	186,240	204,864	225,350
Comisiones	318,798	385,746	466,752
Gastos administrativos	15,200	15,960	16,758
Servicios básicos	130,800	137,340	144,207
Otros gastos	10,000	10,000	10,000
Inversión fija	19,115		
Total Costos y Gastos	680,153	753,910	863,068
UTILIDAD NETA	276,241	403,327	537,189

V. RESULTADOS

En la Fig. 3 y Fig. 4 se muestran las comparaciones de los resultados obtenidos para cada escenario. Como se observa para la variable “*número de solicitudes aprobadas*” el escenario 3 muestra 246 solicitudes aprobadas siendo mayor a los otros 2 escenarios.

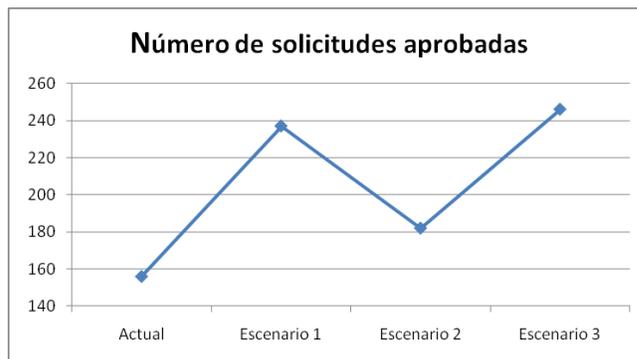


Fig. 3 Variable de Interés Analizada

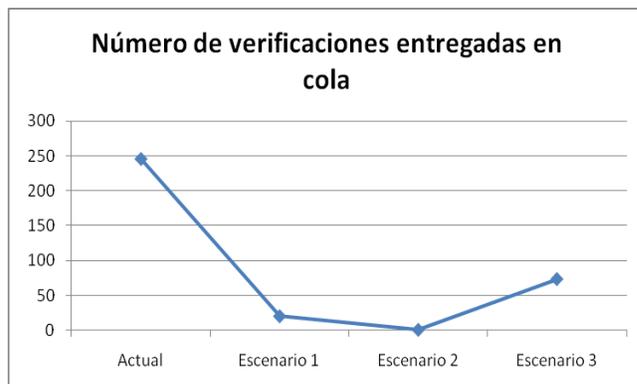


Fig. 4 Variable de Interés Analizada

Para el “*número de verificaciones entregadas*” se muestra que el mejor escenario es el 2 pues llega casi a la reducción total de unidades en cola. Si bien es cierto, el escenario 1 presenta el 52% de incremento de número de solicitudes aprobadas y presenta una reducción del 92% en verificaciones en cola, no se lo considera óptimo pues no alcanza el máximo número de solicitudes aprobadas comparado con los otros escenarios y al reducir las verificaciones entregadas en cola presenta un incremento en la cola de verificaciones pendientes a procesar, causando retrasos en el sistema. Por lo tanto, se escogió como óptimo el escenario 3 pues la variable de mayor interés presenta el mejor incremento de solicitudes aprobadas en este escenario (58%), y es la que predomina al momento de la elección. Se debe destacar que en este escenario se observó

solo una reducción del 30% de verificaciones entregadas en cola comparada con el escenario actual, pero se presenta la ventaja que el sistema funciona a un ritmo constante sin tener colas en las verificaciones pendientes a procesar, lo cual le da un valor agregado a esta alternativa.

VI. CONCLUSIONES

Se logró incrementar significativamente el número de solicitudes aprobadas a través de cambios en actividades y eligiendo las variables de interés que son de vital importancia, pues se consideró al número de aprobaciones y el número de verificaciones entregadas en cola. Fue muy importante considerar esta última variable pues parte de los retrasos en el sistema se debía a las largas colas que se formaban para esta actividad y otras colas que aunque no fueron analizadas específicamente, fueron observadas por el comportamiento que pudieron presentar con los cambios realizados al proceso actual.

Se propusieron mejoras en asignación de actividades en el escenario 1 pues las tareas de otras actividades antes de central de riesgo fueron asignadas al jefe de crédito que presentaba disponibilidad para hacerlo. Además se elaboró un análisis de tareas que agregaban valor a las otras actividades antes de análisis que hace el jefe de crédito y se pudo reducir considerablemente este tiempo, que gracias a la implementación de tecnología puede mantenerse en los tiempos promedios expuestos y reducir la variabilidad de los datos que principalmente se debía a los retrasos que el sistema provocaba. La implementación en tecnología que se realizó fue la compra de un computador para el analista y otro para el jefe de crédito, también se consideró el arreglo del sistema que utilizan para ingresar las solicitudes y evitar retrasos en la aprobación de un crédito nuevo.

Se pudo establecer el escenario óptimo para satisfacer al cliente mediante la reducción de tiempos en varias actividades lo que provoca una atención más rápida y cómoda para el cliente. Se probaron tres escenarios de los que se eligió el escenario 3 que presenta una combinación de los dos escenarios anteriores y logra aumentar en gran porcentaje el número de solicitudes aprobadas, además de reducir unidades en espera de verificaciones entregadas por el verificador y la reducción de unidades en cola de las verificaciones pendientes de revisar en terreno. Se comprobó que los cambios propuestos no representan una gran inversión para la empresa comparándolo con el ingreso en ventas que obtendrían con el aumento de unidades vendidas mejorando su utilidad en gran medida.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio completo de movimientos tomando como referente este proyecto para lograr disminuir la variabilidad de datos y proponer tiempos estándares de atención al cliente.

Se podría considerar mejorar el proceso evaluando que actividades realmente son necesarias para aprobación de crédito pues se pudo notar que existen actividades que no agregan valor y son repetitivas, por ejemplo la revisión de ampliaciones de crédito que realiza el jefe de crédito cuando el analista ya lo aprobó. Este trabajo es innecesario pues deberían existir parámetros de calificación para autorizar o no una ampliación de crédito.

Se recomienda un estudio para el proceso de ampliaciones de crédito pues son en muchas ocasiones las acusantes de retrasos en aprobaciones de créditos y en este estudio fueron tomados en consideración dentro del tiempo de otras actividades que precedían a una nueva actividad para la aprobación de un crédito nuevo.

REFERENCIAS

- [1] BANKS, J., CARSON II, J., NELSON, B., and NICOL, D., *Discrete Even Simulation*, Capítulo 1, Quinta Edición, Editorial Prentice Hall, 2009.
- [2] MENDENHALL, W., *Estadística Matemática con Aplicaciones*, Segunda edición, Grupo Editorial Iberoamérica. México D.F. 1994.
- [3] ULPGC, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España, Departamento de Matemáticas, Complemento 3: Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov Smirnov, http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad_de_Ajuste_de_Kolmogorov_Smirnov.pdf
- [4] LANNER GROUP LTD, Manufacturing Performance Edition, Witness, Tutorial Manual, 2007.
- [5] FERRIS, C., GRUBBS, F., and WEAVER, C., *Operating Characteristics for the Common Statistical Tests of Significance*, The Annals of Mathematical Statistics, Volumen 17, Número 2, 1946. https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.aoms/1177730979
- [6] LLUNA, F., and MARTÍNEZ, R., Estudio Mediante Simulación de una Entidad Bancaria, Sociedad de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Valencia, BOLETIN Volumen 17, Número 2. Junio 2001.
- [7] ALVARADO, J., and PULIDO, L., Simulation and Experimental Design Applied to Sizing Supermarket Cashiers in Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference.

