

Aplicación de un modelo de simulación discreta (DES) a una cadena de actividades en un centro de distribución mayorista

Pablo Alberto Osorio Marulanda
Universidad EAFIT
Medellín, Colombia

Nicolás Rengifo Campo
Universidad EAFIT
Medellín, Colombia

1 de mayo de 2020

Resumen

Este proyecto busca aplicar un modelo basado en simulación discreta para representar la cadena de actividades presente en un centro de distribución mayorista, con el propósito de optimizar el tiempo que permanecen los clientes en el establecimiento. Para esto se usa una estrategia de simulación optimización a través del OptQuest by SIMUL8, y adicionalmente para mejorar el comportamiento del modelo se realizan análisis de datos de entrada y de salida, así como el análisis de sensibilidad respectivo, todo esto a través de la implementación en SIMUL8 Professional 2020.

Palabras clave: Simulación basada en eventos discretos, centro de distribución mayorista, DES

Abstract

This project seeks to apply a discrete event simulation model to represent the chain of activities present in a wholesale distribution center, in order to optimize the time that customers remain in the establishment. For this, an optimization simulation strategy is used through the OptQuest by SIMUL8, and additionally to improve the behavior of the model, input and output data analyzes are performed, as well as the respective sensitivity analysis, all through implementation in SIMUL8 Professional 2020.

Keywords: DES, Discrete event simulation, wholesale distribution center

1. Introducción

En la historia de la humanidad las centrales mayoristas (o plazas de mercado) han ayudado a la centralización del comercio en las ciudades, lo que ha facilitado claramente no solo el acceso a los diferentes productos que allí se comercian, sino que ha permitido establecer, de manera más fácil y cercana, una relación cliente-consumidor que no solo ha permitido el desarrollo de esta industria, sino de otras como la industria agropecuaria y pesquera. Una de las contribuciones esenciales de estas centrales es contribuir en un proceso de ordenamiento en la distribución de alimentos, promoviendo cambios que guíen a una comercialización eficiente [3]. Es claro que, Colombia, al ser un país productor, concentra gran actividad en este tipo de centrales en cuanto se refiere a importaciones; sin embargo, los aspectos técnicos de este tipo de mercados no han sido muy desarrollados, esto es, permanece con una dinámica comercial y con estrategias que, para la nueva sociedad de consumo, necesitan ser renovadas. Ausencia de claridad en las funciones y procesos llevados en esta labor, debido a la informalidad con que se desarrolla en algunos casos, dificulta el mantenimiento de actividades implícitas de la actividad, afectando a los diferentes agentes de la

cadena y que, en últimas no solo afecta la sostenibilidad financiera del establecimiento, sino que son problemáticas que terminan finalmente afectando al consumidor y al factor humano que allí labora [3]. La ejecución de este proyecto es pertinente en cuanto, la mayoría trabajos desarrollados hasta ahora con un enfoque DES son en gran medida ajenos a la mecánica particular de la central mayorista Latinoamericana y la dinámica llevada en este depósito particular.

En el desarrollo de este trabajo, con un caso aplicado a un depósito mayorista, se buscará, a través de la modelación discreta, la intromisión en la cadena de actividades para no solo segmentarlas estratégicamente, sino buscar eficiencia en el proceso de facturación, supervisión y entrega, otorgando precisión en los mismos y, finalmente, permitiendo tomar decisiones basadas en esta representación aproximada de esta realidad, todo esto a través una implementación realizada en el software SIMUL8 y el análisis de los datos, así como su verificación y validación, y finalmente un análisis de sensibilidad acompañado de experimentación para cumplir los objetivos propuestos.

2. Modelamiento conceptual

Dada la naturaleza del problema, la simulación de eventos discretos es la herramienta más apropiada para otorgar el enfoque pertinente en la solución de esta problemática, y, además, permite la conclusión efectiva de los objetivos planteados a continuación:

2.1. Objetivo general del modelo

El objetivo general del modelo es evaluar posibilidades que permitan disminuir los tiempos que los clientes (cuantificados como facturas) pasan en la empresa en un día promedio, teniendo en cuenta tiempos de facturación y de entrega de mercancía.

2.2. Objetivos específicos del modelo

- Calcular una cota máxima para el tiempo total en el sistema.
- Determinar el número de empleados necesarios para cumplir una condición de un máximo tiempo en el sistema para la mayoría de los casos.

2.3. Objetivos generales del proyecto

Escala de tiempo	1 día laboral de concurrencia promedio (tiempo para Proyecto)
Flexibilidad	Dado que el modelo se basará en un caso promedio, se espera que se repita con periodicidad, por lo que seguirá siendo válido una vez desarrollado.
Numero de corridas	Se determinará el número de corridas necesarias para la evaluación de cada uno de los escenarios de interés.
Exposición visual	Animación 2D acorde a la dinámica y distribución actual de los escenarios reales.
Facilidad de uso	Dado que los analistas serán los mismos desarrolladores del modelo, no se requerirá una interfaz amigable, sin embargo, cuando alguna aclaración sea necesaria será provista.

2.4. Salidas/respuestas del modelo

Salidas (para determinar el alcance de los objetivos)

- Tiempos de espera (de las colas) asociados a un intervalo de confianza.
- Tiempos de permanencia en el sistema asociados a un intervalo de confianza.
- Número de empleados necesarios para satisfacer condiciones temporales deseadas.
- Analítica de datos sobre los datos más frecuentes sin dejar de lado los datos extremos.

Salidas(para determinar las razones de falla)

- Presencia de datos extremos.
- Validación errónea injustificada.

2.5. Factores experimentales

- Falla en la recopilación de datos.
- Cantidad de datos no es suficiente para hacer un análisis más preciso.
- Supuestos erróneos, como el ajuste de los datos.

2.6. Alcance del modelo

Componentes	Incluir/excluir	Justificación
Entidades		
Facturas (Clientes)	Incluir	Factor experimental y objeto de estudio
Facturas (Mercancía)	Incluir	
Actividades		
Llegada de Clientes	Incluir	Es esencial para el desarrollo
Llegada de Mercancía	Incluir	Es esencial para el desarrollo
Facturación	Incluir	
Supervisión	Incluir	Procesos por los cuales pasa la entidad y son indispensables para dar respuesta a los objetivos propuestos para el proyecto
Entrega	Incluir	
Recibo de Mercancía	Incluir	
Queues:		
Facturación (Clientes)	Incluir	Factor experimental
Facturas (Proovedores)	Incluir	Factor experimental
Entregas	Incluir	Factor experimental
Recibo	Incluir	Factor experimental
Resources:		
Trabajadores (Cajeros)	Incluir	Responsables de la prestación del servicio
Trabajadores (Empacador)	Excluir	Se considera fuera del objeto de estudio

2.7. Nivel de detalle del modelo

Componente	Detalle	Incluir/Excluir
Facturas (Clientes)	Tiempo entre llegadas de los clientes, medidos en minutos y dependiendo de la jornada del día	Incluir
	Tiempo que el cliente esta en el sistema antes de facturar	Excluir
Facturas (Mercancia)	Tiempo entre llegadas de la mercancia medidos en minutos	Incluir
Facturación	Tiempo de facturación	Excluir
Supervisión	Tiempo de clasificación de facturas por prioridad y recibo de mercancía	Incluir
Entrega de Mercancía	Tiempo desde que la factura es asignada a un bodeguero y se entrega la mercancía	Incluir
Recibo de Mercancía	Tiempo desde que se asigna a un bodeguero a recibir mercancía hasta que termina la actividad	Excluir
Trabajadores (Cajeros)	Número	Incluir
	Rendimiento por trabajador	Excluir
Trabajadores (Bodeguero)	Número	Incluir
	Rendimiento por trabajador	Excluir

2.8. Supuestos del modelo

- Se asumen distribuciones triangulares para las actividades dado que solo se disponen de tiempos mínimos máximos y promedios por cada actividad.
- La única actividad realizada por los bodegueros es la de entrega y recibo de mercancía
- El modelo solo considera la etapa en la que el cliente directamente entra a facturar
- Se considera igual rendimiento por parte de los recursos

2.9. Simplificaciones del modelo

- Se hará seguimiento al cliente considerándolo como una factura, de igual manera se representarán como factura el evento llegada de mercancía.
- Se omiten actividades realizadas por los bodegueros, como el orden y aseo de las bodegas
- Día de concurrencia promedio.

2.10. Diagrama de flujo

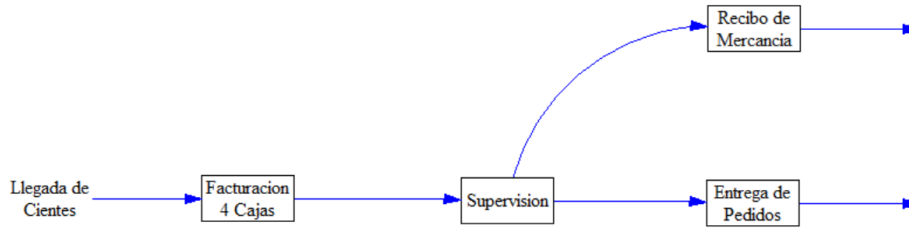


Figura 1: Diagrama de flujo para modelo planteado

3. Antecedentes

Considerando el modelo expuesto en los apartados anteriores, perteneciente a un problema en la cadena de suministros en Latino América, no fue posible encontrar artículos en la literatura que tuviesen el mismo enfoque que se plantea realizar en este trabajo, pues además de las notables diferencias en la cadena de abastecimiento en Estados Unidos y Europa, lugares de donde se tiene mayor literatura en el campo de simulación de eventos discretos, este tipo de modelación se usa para fines asociados con mejorar el rendimiento de las empresas en otros aspectos como el ruteo, o considerar el modelo a macro escala, donde se ven contemplados: empresa, distribuidores mayoristas y minoristas y usuarios finales; En el primer artículo [2], se toma como referencia un caso bastante estudiado como es el juego de la cerveza, sin embargo como se mencionó anteriormente, el uso de la simulación en la literatura para este tipo de empresa, no se basa en la atención directa con los clientes, como se planea realizar en este proyecto, sino con distintos enfoques.

Se debió buscar entonces como referencia una empresa con un distinto funcionamiento, pero con el mismo objetivo de la empresa en estudio, es el caso entonces de un autoservicio [1] en donde a diferencia del artículo anterior se estudian tiempos del sistema, con un alto énfasis en el rendimiento de los trabajadores, llamados recursos en los modelos de simulación discreta, y mediante el uso de simulación optimización se llegan a resultados que permitan satisfacer restricciones dadas por la empresa, y claro está mejorando de esta manera la atención al usuario.

Del artículo [1], podemos tomar algunas ideas acerca del modelamiento de las actividades que realizan los trabajadores, sin embargo, dadas las diferencias en los sistemas no es trivial el uso de las mismas técnicas. De manera adicional, el libro guía [4] sirvió para el desarrollo de la metodología en el modelo

4. Datos del modelo

Para que la evaluación de la implementación del modelo sea válida a través del análisis de sus datos de salida es necesario, con anterioridad, pasar los datos de entrada a través de un análisis de datos. Para este caso particular, analizaremos en primer lugar los datos que se refieren a las llegadas de los clientes por unidad de tiempo, tomados en formato de “tiempo entre llegadas”. Para la primera jornada del día (mañana) se obtuvo el siguiente análisis:

descriptive statistics

data points	141
minimum	0.02
maximum	14.93
mean	1.93163
median	1.23
mode	0.02
standard deviation	2.33088
variance	5.433
coefficient of variation	120.669
skewness	3.09231
kurtosis	12.3706

Figura 2: Análisis descriptivo para primer conjunto de datos

Esta tabla de estadísticos descriptivos establece que, el máximo tiempo entre llegadas para el caso de la mañana es de 14.93 minutos, y que la media es de 1.93163 minutos.

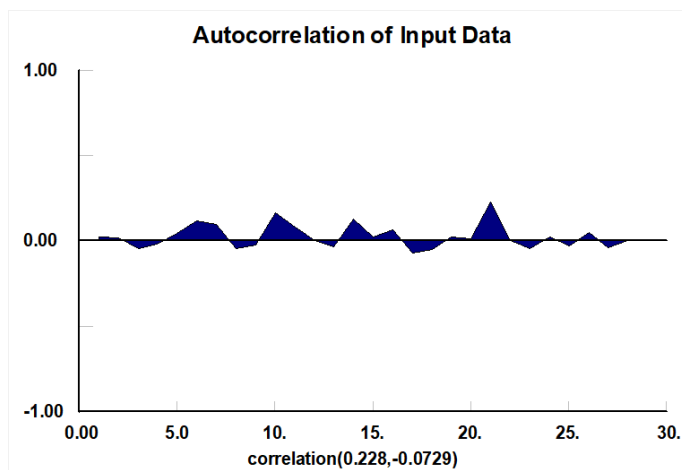


Figura 3: Diagrama de autocorrelación para primer conjunto de datos

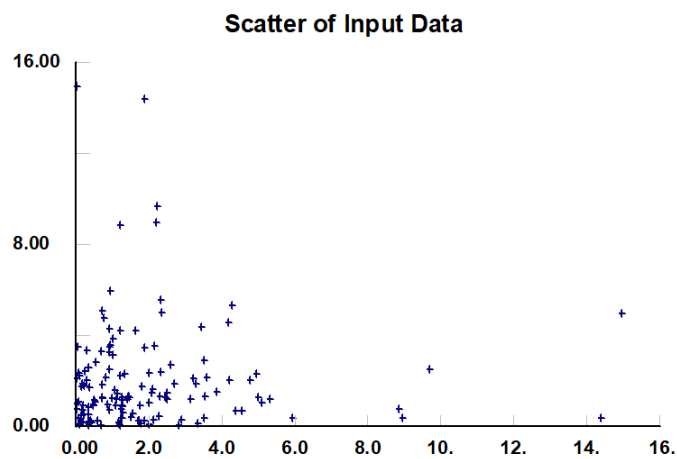


Figura 4: Scatter plot para primer conjunto de datos

Con los gráficos de autocorrelación y Scatter plot podemos concluir que los datos son incorre-

lados e independientes.

```
kruskal-wallis rank sum test
data: data and data
kruskal-wallis chi-squared = 140, df = 103, p-value = 0.008981
```

Figura 5: Test de kruskal wallis

Para el test de Kruskal-Wallis el valor del p-value verifica que los datos son homogéneos. La siguiente describe una prueba de bondad de ajuste para diferentes distribuciones con análisis de Kolmogorov-Smirnof y Anderson-Darling

autofit of distributions			
distribution	rank	acceptance	aicc prob
Chi Squared(0, 1.87)	100	do not reject	0.0195
Beta(0, 1.46e+004, 0.899, 6.78e+003)	87	do not reject	0.0588
Gamma(0, 0.898, 2.15)	86.7	do not reject	0.165
Weibull(0, 0.917, 1.85)	71.3	do not reject	0.171
Pearson 6(0, 8.04, 1.06, 5.38)	59.8	do not reject	0.184
Erlang(0, 1, 1.93)	41.8	do not reject	0.357
Exponential(0, 1.93)	41.7	do not reject	1
Lognormal(0, 0.00723, 1.32)	0.258	reject	0.00144
Uniform(0, 14.9)	0	reject	0
Pearson 5(0, 0.546, 0.174)	0	reject	0
Rayleigh(0, 2.14)	0	reject	0
Triangular(0, 15.1, 0)	0	reject	0
Power Function(0, 15, 0.371)	0	reject	0

Figura 6: Pruebas de bondad de ajuste para diferentes distribuciones primer conjunto de datos

Para la implementación de estos datos en el modelo se consideró una distribución gamma (0.898,2.15).

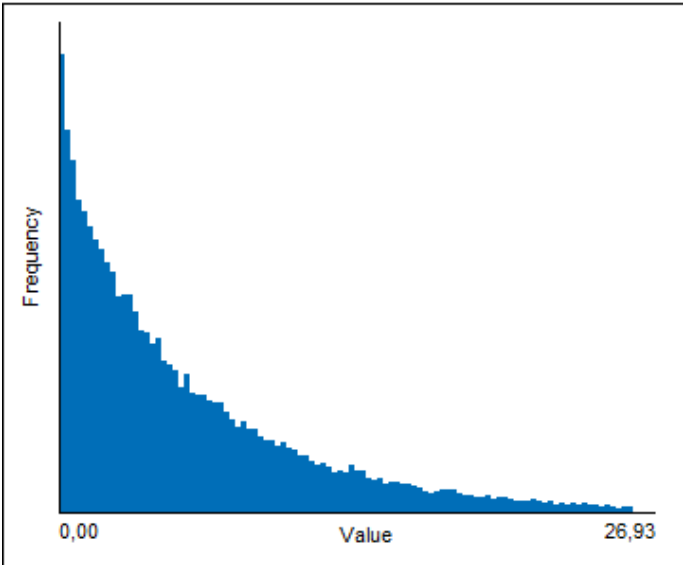


Figura 7: gamma (0.898,2.15)

Veamos ahora el análisis para la segunda jornada del dia (tarde):

descriptive statistics

data points	108
minimum	0.02
maximum	12.07
mean	2.17546
median	1.38
mode	0.02
standard deviation	2.287
variance	5.23037
coefficient of variation	105.127
skewness	2.00281
kurtosis	4.72587

Figura 8: Análisis descriptivo para segundo conjunto de datos

La tabla de estadísticos descriptivos establece que, para esta jornada, el máximo tiempo entre llegadas fue de 12.07 minutos (menor que la jornada de la mañana) y que su media está alrededor de los 2.1 minutos.

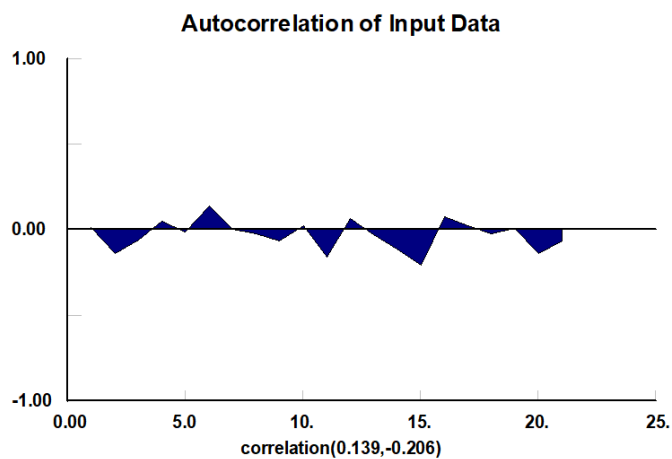


Figura 9: Diagrama de autocorrelación para segundo conjunto de datos

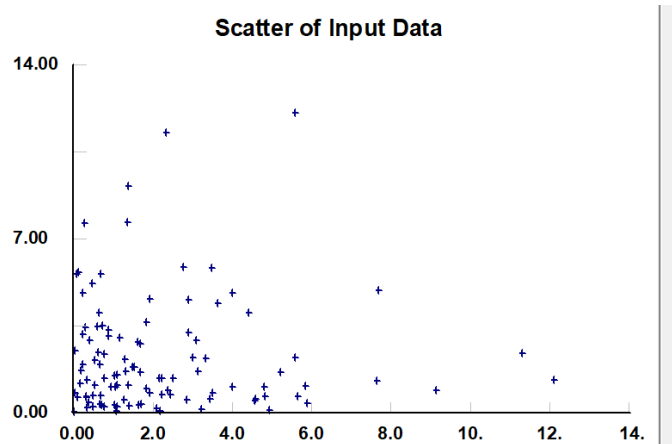


Figura 10: Scatter plot para primer conjunto de datos

Con los gráficos de autocorrelación y Scatter plot podemos concluir que los datos son incorrelados e independientes.

```

Kruskal-wallis rank sum test

data: data2 and data2
Kruskal-wallis chi-squared = 107, df = 87, p-value = 0.07172

```

Figura 11: Test de kruskal wallis

Si bien bajo una tolerancia del 95 % los datos no son homogéneos, si se cede a una tolerancia del 90 % (siendo un poco laxos), no rechazaremos homogeneidad.

La siguiente describe una prueba de bondad de ajuste para diferentes distribuciones con análisis de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling

autofit of distributions			
distribution	rank	acceptance	aicc prob
Pearson 6(0, 25.4, 1.02, 13.1)	100	do not reject	0.101
Weibull(0, 0.967, 2.14)	99.8	do not reject	0.257
Gamma(0, 0.958, 2.27)	99.3	do not reject	0.265
Beta(0, 611, 0.959, 269)	99.3	do not reject	0.0948
Chi Squared(0, 2.07)	97.7	do not reject	0.0712
Exponential(0, 2.18)	95.4	do not reject	1
Erlang(0, 1, 2.18)	95.4	do not reject	0.354
Lognormal(0, 0.172, 1.29)	10.6	do not reject	0.00166
Uniform(0, 12.1)	0	reject	0
Pearson 5(0, 0.535, 0.196)	0	reject	0
Rayleigh(0, 2.23)	0	reject	0
Triangular(0, 12.2, 0)	0	reject	0
Power Function(0, 12.1, 0.43)	0	reject	0

Figura 12: Pruebas de bondad de ajuste para diferentes distribuciones segundo conjunto de datos

Con estas pruebas de bondad de ajuste se decidió implementar para el modelo de llegadas en la segunda jornada una distribución Pearson-VI(1.02,13.1,25.4) (Alpha 1, Alpha 2 y beta respectivamente)

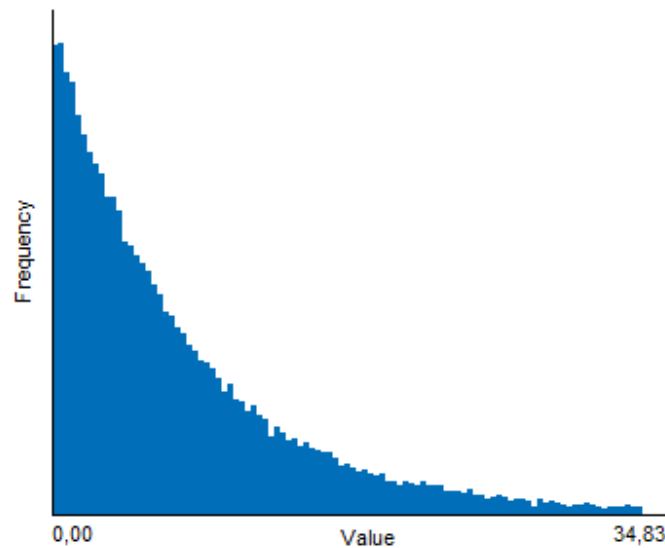


Figura 13: Pearson-VI (1.02,13.1,25.4)

De manera adicional otros de los datos que el modelo considera son los siguientes: Llegada de mercancía: Esta entrada se modeló con una distribución fixed de parámetro 110 minutos. **Facturación:** La facturación se modeló con una distribución triangular de moda de 3 minutos, un valor mínimo de 0.4 y un valor máximo de 10.

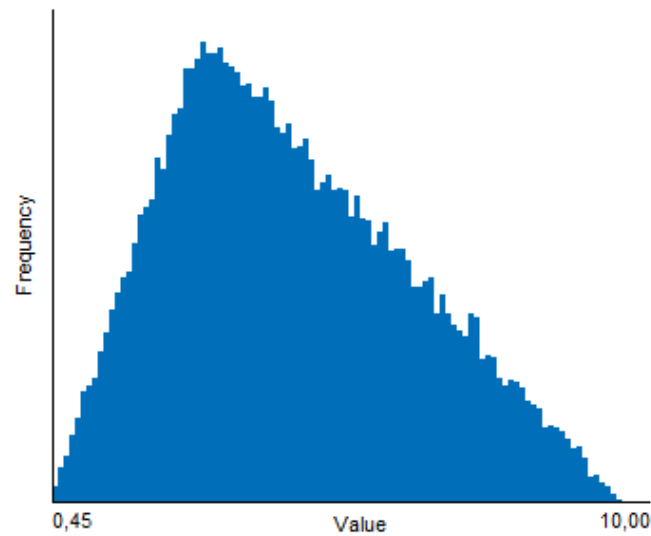


Figura 14: Modelo facturación

Supervisión: Esta actividad se modeló con una distribución fixed de parámetro 0.16 minutos. **Recibo de mercancía:** Esta actividad se modeló con una distribución triangular moda de 15 minutos, un valor mínimo de 10 y un valor máximo de 30. **Recibo de mercancía:** Esta actividad se modeló con una distribución triangular moda de 15 minutos, un valor mínimo de 10 y un valor máximo de 30.

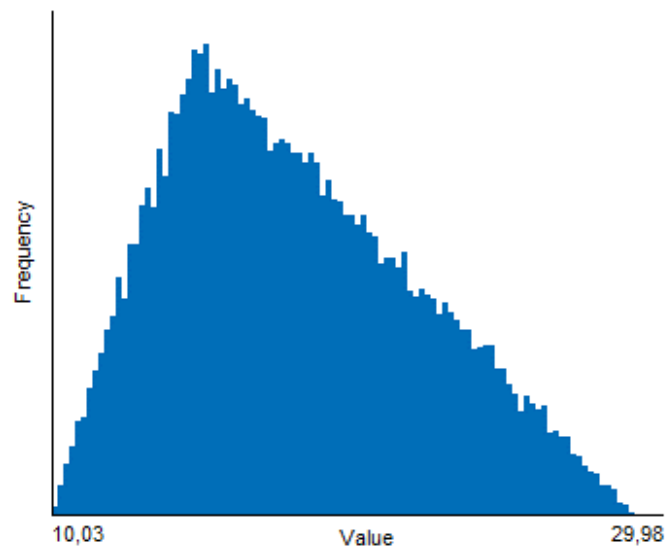


Figura 15: Modelo Recibo de mercancía

Entrega: Para la entrega se consideran dos casos:

- Cliente con pedido pequeño: Se modela con una distribución triangular de moda 3 minutos, un valor mínimo de 0.2 y un valor máximo de 5.

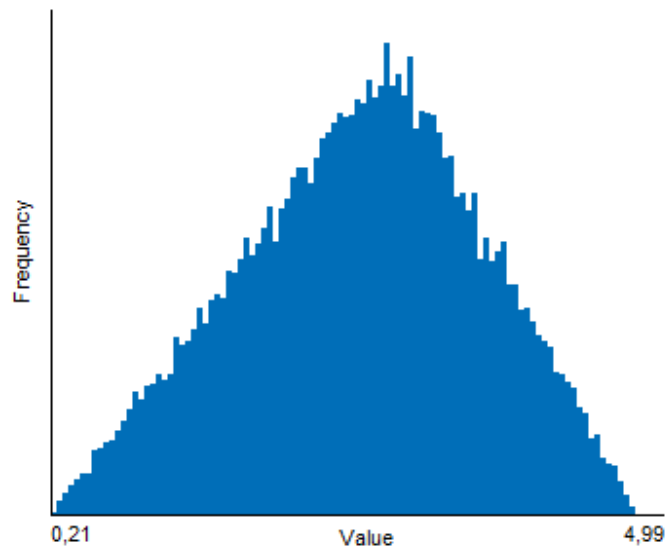


Figura 16: Modelo entrega pedido pequeño

- Cliente con pedido grande: Se modela con una distribución triangular de moda 15 minutos, un valor mínimo de 8 y un valor máximo de 40.

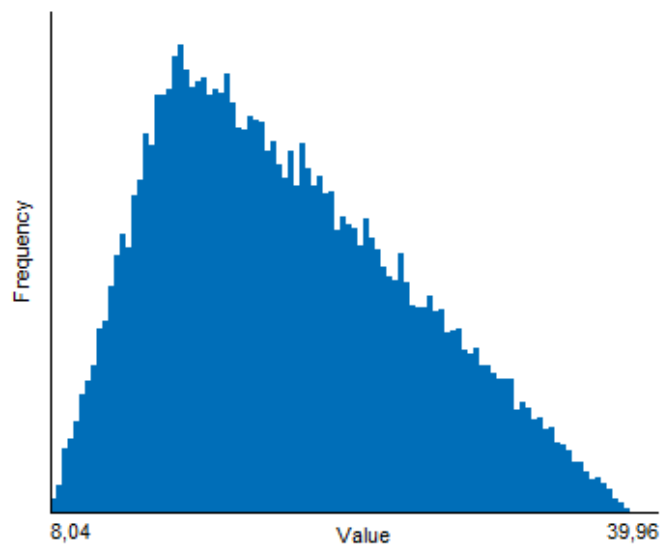


Figura 17: Modelo entrega pedido grande

Se consideran inicialmente los siguientes recursos:

- 4 cajas
- 10 bodegueros
- 1 supervisor

5. Implementación en plataforma de simulación

Para la implementación del modelo se utilizó el software SIMUL8 2020 Professional. El modelo empleado es un modelo de simulación discreta, que contiene 2 entradas (llegada de mercancía y llegada de clientes), donde ambos pasan por una actividad de supervisión que atiende un supervisor, para posteriormente proceder a su recibo o entrega respectivamente. Adicionalmente, los clientes

al inicio de la cadena tienen un proceso de facturación, donde el cliente da los nombres de los productos que quiere adquirir para recibir una factura que posteriormente entrará en el proceso mencionado anteriormente. Para la entrega de la mercancía y adquisición de la mercancía se tienen los bodegueros, empleados encargados de esta función. Al momento de la llegada, existen dos tipos de clientes, aquellos que tiene facturas pequeñas y facturas grandes, donde estos no se segmentan con precio, sino cantidad de producto y dificultad para ser entregado. Estos representan un 70 % y un 30 % respectivamente.

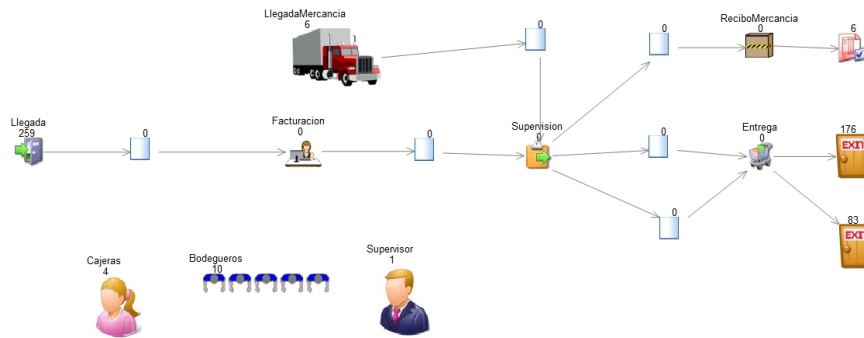


Figura 18: Implementación del modelo en la plataforma SIMUL8

6. Obtención de resultados

Detallemos primero detalles referentes a la naturaleza del modelo.

Naturaleza del modelo: Modelación estocástica

Naturaleza de las salidas: Aleatorias

Espacio de soluciones: Al momento de realizar la Simulación-Optimización en un apartado posterior del trabajo, se obtendrá un espacio de solución caracterizado por la variaciones de la cantidad de recursos y la posterior obtención de la mejor combinación de recursos para un objetivo definido; es decir, los valores para los factores de experimentación y su incidencia sobre una variable de interés.

6.1. Resultados

Start Points

	Number Entered	Number Lost	Net Number Entered
Llegada	267	0	267
LlegadaMercancia	6	0	6

Queues

	Minimum Queue Size	Average Queue Size	Maximum Queue Size	Minimum Queuing Time	Minimum (Non-zero) Queuing Time	Average Queuing Time	Average (Non-zero) Queuing Time	Maximum Queuing Time	Number of Non-zero Queuing Times	% Queued Less Than Time Limit	"Queued Less Than" Time	St Dev of Queuing Time	Current Contents	Items Entered
Queue for Facturacion	0	0,152	4	0	0,001	0,372	1,381	4,53	72	100	10	0,812	0	267
Queue for Supervision	0	0,015	2	0	0,019	0,009	0,09	0,181	28	100	10	0,031	0	267
Queue 4	0	0,007	1	0	0,095	0,016	0,095	0,095	1	100	10	0	0	6
Queue for Entrega	0	0,007	2	0	0,104	0,061	0,825	2,293	7	100	10	0,293	0	95
Queue for ReciboMercancia	0	0	1	0	0	0	0	0	0	100	10	0	0	6
Queue for Entrega 2	0	0,022	3	0	1,641	0,124	4,259	7,571	5	100	10	0,818	0	172

Figura 19: Resultados en la primer corrida del modelo

Activities													
	Waiting %	Working %	Blocked %	Stopped %	Number Completed Jobs	Minimum Use	Average Use	Maximum Use	Current Contents	Change Over %	Off Shift %	Resource Starved %	Maintenance %
Facturacion	0	0	0	0	267	0	1,711	4	0	0	0	0	0
Supervision	93,665	6,335	0	0	273	0	0,094	1	0	0	0	0	0
Entrega	0	0	0	0	266	0	3,589	10	1	0	0	0	0
ReciboMercancia	83,727	16,273	0	0	6	0	0,16	1	0	0	0	0	0

Resources						
	Utilization %	Minimum Use	Current Use	Average Use	Maximum Use	Traveling %
Cajeras	42,124	0	0	1,685	4	0
Bodegueros	37,596	0	1	3,76	10	0
Supervisor	6,335	0	0	0,063	1	0

Ends							
	Average Time in System	Number Completed	"In System Less Than" time	% In System Less Than Time Limit	St Dev of	Maximum Time in System	Minimum Time in System
Entrega pequeños	11,742	172	15	84,302	2,7	20,569	7,539
End 2	21,778	6	30	83,333	5,326	30,538	17,556
Entrega grandes	30,163	94	30	48,936	6,966	44,281	16,52

Figura 20: Resultados en la primer corrida del modelo(2)

Estos últimos representan los resultados de las variables de interés del modelo corridos con los parámetros default del mismo.

Ahora bien, considerando la complejidad con la que le modelo está evaluado, la cantidad de corridas necesarias para asegurar unos resultados confiables para estas variables específicas, son las siguientes:

Recommended runs for 5 % precisión	Recommended Runs
Bodegueros: Utilization %	17
Cajeras: Utilization %	11
Cajeras: Number Available	4
Supervisor: Number Available	4
Bodegueros: Number Availabre	4
Entrega grandes: % In System Less Than Time Limit	14
Entrega pequeños: % In System Less Than Time Limit	7
End 2 % In System Less Than Time Limit	9

Resultados posteriores a la aplicación de las corridas recomendadas expresadas en intervalos de confianza:

















Bodegueros	Utilization %	31.53	33.14	34.76	
	Number Available		10.00		
Cajeras	Utilization %	41.47	43.14	44.82	
	Number Available		4.00		
Supervisor	Number Available		1.00		
Entrega grandes	"In System Less Than" time	30.00	30.00	30.00	
	% In System Less Than Time Limit	50.54	52.72	54.89	
Entrega pequeños	"In System Less Than" time	15.00	15.00	15.00	
	% In System Less Than Time Limit	87.22	88.92	90.62	
End 2	"In System Less Than" time	30.00	30.00	30.00	
	% In System Less Than Time Limit	96.94	99.02	100.00	
Supervisor	Utilization %	6.08	6.30	6.53	
Entrega pequeños	Number Completed	178.47	185.88	193.30	
	Average Time in System	11.57	11.72	11.87	
Entrega grandes	Average Time in System	30.07	30.44	30.81	
	Number Completed	73.64	78.94	84.25	
End 2	Average Time in System	20.32	21.17	22.02	
Supervision	Average Use	0.10	0.11	0.12	
Facturacion	Average Use	1.64	1.71	1.79	
Cajeras	Average Use	1.66	1.73	1.79	
Supervisor	Average Use	0.06	0.06	0.07	
Bodegueros	Average Use	3.15	3.31	3.48	

Figura 21: Intervalos de confianza calculados

Es claro que, para las variables de interés, los intervalos de confianza son muy cerrados, por lo que podemos confiar plenamente en los resultados que lance el modelo respecto a estas variables.

7. Análisis de salidas

Veamos primero la forma que tienen las salidas en el modelo en los siguientes histogramas:

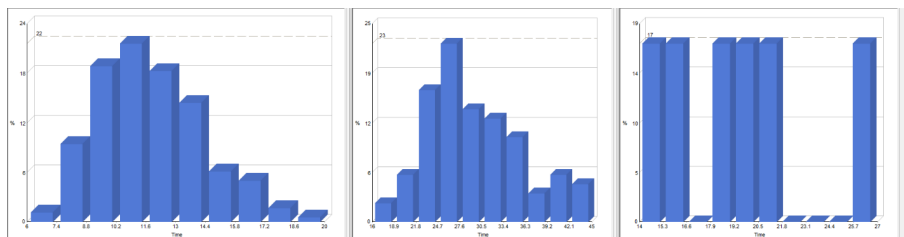


Figura 22: Histogramas de las salidas del modelo

El histograma de la izquierda representa el tiempo en el sistema que tiene las entregas pequeñas, el del centro representan las entregas grandes y el de la derecha representa el tiempo en sistema que pasan las facturas para recibir totalmente la mercancía que llega. Analicemos cada salida de manera independiente.

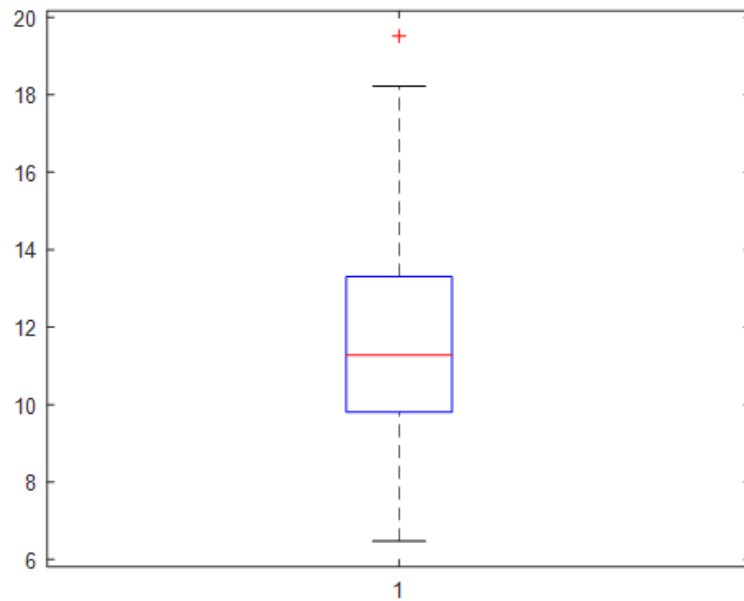


Figura 23: boxplot para salida entregas pequeñas

Tal como lo muestra el boxplot que grafica los datos de salida para la entrega de pedidos pequeños, el 50% de la muestra (entre el percentil 25y 50) se toma un tiempo en el sistema de entre 10 y 13 minutos aproximadamente. Adicionalmente, alrededor del 75% de la muestra para este caso gastó en el sistema entre 6.5 minutos y 13 minutos.

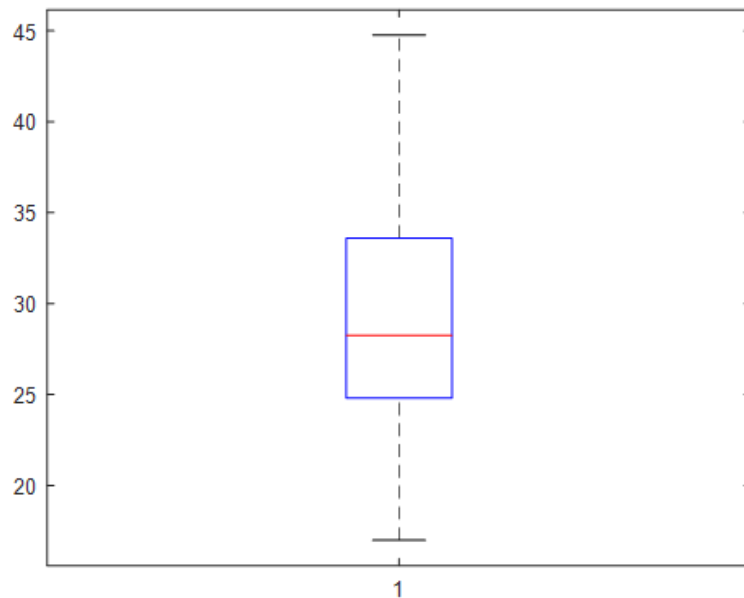


Figura 24: boxplot para salida entregas grandes

Para el caso de las salidas de los datos para la entrega de pedidos grandes, el 50% de la muestra (entre el percentil 25y 50) se toma un tiempo en el sistema de entre 24.8 y 33.6 minutos aproximadamente. Así mismo, alrededor del 75% de la muestra gastó en el sistema un tiempo estimado entre 17 minutos y 33.6 minutos.

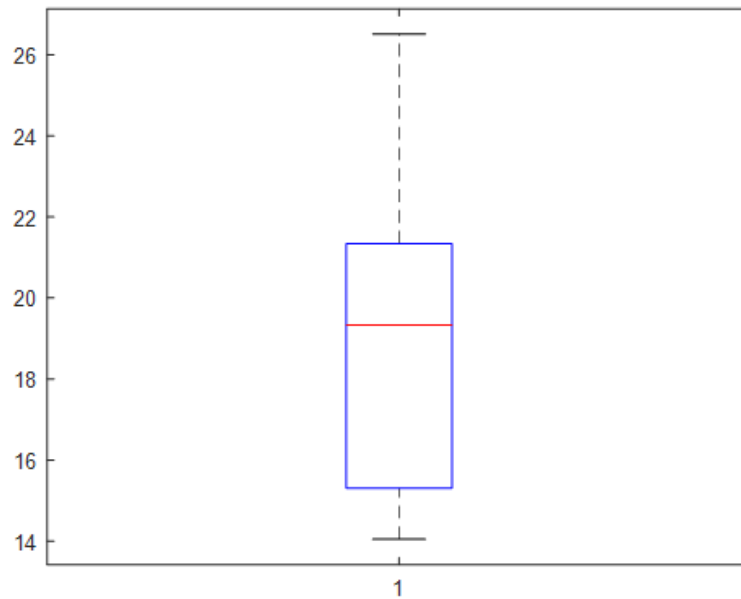


Figura 25: boxplot para salida mercancía recibida

Esta última gráfica nos muestra el comportamiento de los datos para el último caso, que representa el tiempo en el sistema de las facturas de mercancía recibida. Esta indica que, el tiempo que se tarda el 50 % de la mercancía en ser recibida está entre 15.3 minutos y 21.3 minutos. Otra de las cosas esenciales para la interpretación de las salidas es el porcentaje de utilización de los recursos.

Recurso	Porcentaje promedio de utilización (%)
Supervisor	6.30
Cajeras	41.47
Bodegueros	31.53

7.1. Validación del modelo

Uno de los porcentajes más notorios, en este caso por bajo, es el del supervisor. Sin embargo, el supervisor tiene como función secundaria facturar, por lo que dedica el mayor porcentaje de su tiempo a otras actividades.

Las cajeras por su parte se dedican a actividades adicionales como hacer pedidos de manera no presencial, adicionalmente se llevan tiempo por forma de pago.

Y, de igual manera, los bodegueros desempeñan labores relacionadas con el ordenamiento de la bodega, surtirlas, el aseo de la misma, entre otras. Con lo que, el porcentaje de utilización para estas actividades no representan el porcentaje de trabajo real que los recursos realizan en el establecimiento.

8. Análisis de sensibilidad y experimentación

	A	B	C	D	E	F
1		Bodegueros: Utiliz	Cajeras: Utiliz	Entrega grandes: % In System Less Than	Entrega pequeños: Average Time	Entrega pequeños: % In System Less Than Time Limit
2	Normal Trial	28.06761551	34.4398619	44.94684232	11.04810108	96.27961577
3		31.61506969	40.808995	52.68359824	11.4966119	98.82153132
4		35.16252386	47.1781282	60.42035416	11.94512271	100
5	Dist_entrada_mañana: -10%	32.81282604	43.0385567	53.2166918	11.63611397	98.36274087
6	10%	29.50065582	38.4813184	54.43282415	11.47237636	98.97465438
7	Sensitivity	0.466837634	0.3577597	0.078594462	0.182534737	0.164475889
8	Beyond Confidence	0	0	0	0	0
9	Dist_entrada_tarde: -10%	32.48571307	42.4216724	53.24434172	11.52852242	98.8741303
10	10%	30.26004723	39.2911815	54.11764706	11.49140483	98.78283389
11	Sensitivity	0.313699026	0.24575486	0.056438729	0.041378701	0.024539511
12	Beyond Confidence	0	0	0	0	0
13	Dist_entrega_tipo1: -10%	30.9409282	40.808995	52.68359824	11.23203544	99.19817915
14	10%	32.28921118	40.808995	52.68359824	11.76118836	98.6432782
15	Sensitivity	0.190035292	0	0	0.589899849	0.149151517
16	Beyond Confidence	0	0	0	0	0
17	Dist_entrega_tipo2: -10%	29.28954009	40.808995	65.96745668	11.4966119	98.82153132
18	10%	33.94059928	40.808995	44.9755627	11.49764115	98.82153132
19	Sensitivity	0.655548876	0	1.356634111	0.001147411	0
20	Beyond Confidence	0	0	1	0	0

Figura 26: Análisis de sensibilidad

En la tabla anterior se evidencia el comportamiento del modelo dadas unas variaciones de -10 % y 10 % sobre las distribuciones usadas para la generación de datos aleatorios, así mismo como los respectivos resultados en las variables respuestas de interés, entre menor sea la variación podemos decir que el modelo es más robusto, pues no es tan sensible a perturbaciones. Tal es el caso de la influencia de la distribución de tiempos entre llegadas en la jornada de la tarde sobre el porcentaje de facturas pequeñas que se entregan en un tiempo menor que fijado, cuya variación es casi nula. Por otra parte, tenemos el caso de la influencia de distribución en la actividad de entrega bajo el atributo 2, entregas grandes, en donde la diferencia es considerablemente alta para la variable porcentaje de facturas grandes que se entregan en un tiempo menor que fijado. Y como un caso particular en nuestro modelo, vemos que la distribución de entrega tipo 2, factura grande, es consistente con las variables asociadas a las facturas pequeñas, pues lógicamente la una no debería tener ninguna relación con la otra.

9. Simulación optimización

Se plantea como método de experimentación el uso de la simulación optimización, continuando con el objetivo de disminuir los tiempos que los clientes pasan en la empresa, considerando la actividad de facturación y despacho de mercancía, se proceden a variar los recursos disponibles para cada actividad y ver como estos incide sobre las variables de interés. Este método nos permite evaluar la mejor combinación posible de los recursos para minimizar la función objetivo que para este caso son los tiempos que los clientes pasan en el sistema. Para poder ejecutar de manera apropiada este método y tener una posible solución a la problemática se darán posibles diferentes soluciones considerando un valor de 10, 12 y 15 minutos como límites de tiempos de permanencia en el sistema, para ver qué porcentaje de clientes satisfacen dicho umbral. Se muestran a continuación los resultados obtenidos en OptQuest by Simul8 para 10, 12 y 15 minutos respectivamente:

■ 10 minutos

Mazimize	Bodegueros	Cajeras	Supervisor
Entrega pequeños. % In System Less Than Time Limit			
29.7909	10	4	1

■ 12 minutos

Mazimize	Bodegueros	Cajeras	Supervisor
Entrega pequeños. % In System Less Than Time Limit			
67.6040	10	4	1

■ 15 minutos

Mazimize Entrega pequeños. % In System Less Than Time Limit	Bodegueros	Cajeras	Supervisor
92.5983	10	4	1

En los tres casos la solución dada por el software es la misma, es decir, bajo las condiciones que se consideró el modelo, el número de recursos es el apropiado si se pretende minimizar el tiempo en el sistema de los clientes que hacen una compra pequeña., aunque es claro que el porcentaje para los distintos casos es distinto.

10. Conclusiones

1. Las facturas pequeñas se entregan en su totalidad a sumo con un tiempo de 17 minutos.
2. La utilización de los recursos es baja, pues se asume que la única actividad realizada es la de entrega y recibo de mercancía, se omiten otras actividades que se realizan en la empresa, tales son el surtir y organizar estantería, aseo de la bodega.
3. Si bien el modelo planteado no tiene una ejecución compleja, es claro que, debido a la poca literatura que lo describe y en las condiciones en las cuales fue aplicado, se verifica la pertinencia e importancia del mismo.
4. Para la afinación del modelo es recomendable, en primer lugar, que aquellas actividades que son modeladas con distribuciones triangulares sean cambiadas a distribuciones con ajuste en datos tomados de las mismas. Igualmente es recomendable que, para el caso de la validación, esta se realice con la presencia de los datos reales.
5. Para futuro desarrollo es conveniente igualmente incluir otras actividades importantes de los recursos que influyen de alguna manera en el tiempo que un cliente pasa en la tienda.

Referencias

- [1] Soemon Takakuwa Kanna Miwa. Optimization and analysis of staffing problems at a retail store. 2010.
- [2] Nigel Wild Charles Hunt Li Zhou, Ying Xie. Learning and practising supply chain management strategies from a business simulation game: A comprehensive supply chain simulation. 2008.
- [3] Maritza Rodríguez Reyes. La función de los mercados mayoristas en los centros urbanos de colombia. *ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN*.
- [4] Stewart Robinson. *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. Wiley, 2004.