

**Bladimir Homero Serrano Rugel**

**Trabajo Final de Máster**

**ESTUDIO DE LA CAÍDA DE LAS VENTAS DEL CENTRO COMERCIAL  
FARMICENTRO MM.**

**Dirigido por el Dr. Pau Fonseca Casas**

**Máster en Ingeniería Computacional y Matemática**



**TARRAGONA  
JUNIO DEL 2017**

## FICHA DEL TRABAJO FINAL

<b>Título del trabajo:</b>	ESTUDIO DE LA CAÍDA DE LAS VENTAS DEL CENTRO COMERCIAL FRAMICENTRO MM
<b>Nombre del autor:</b>	BLADIMIR HOMERO SERAANO RUGEL
<b>Nombre del consultor:</b>	Ph.D. PAU FONSECA ICASAS
<b>Fecha de entrega :</b>	8 DE MAYO 2017
<b>Área del Trabajo Final:</b>	MODELACIÓN Y SIMULACIÓN

### Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras):

En este estudio, fueron simuladas las actividades que se desarrollan a diario en los puntos de venta del centro comercial FARMICENTRO-MM de acuerdo a un modelo conceptual de eventos discretos implementado en el Software Simio 8 Academic Edition.

Los resultados permitieron al propietario de FARMICENTRO-MM contar con argumentos para la toma de decisiones acertadas, con lo que se determinó la suficiencia de sus puntos de venta de tal manera que se incremente el volumen total de ventas.

El modelo se validó aplicando el método de caja negra por comparación con el sistema real. Los tiempos medios de atención al cliente, son estadísticamente aproximados a los del sistema de acuerdo al cálculo de intervalos de confianza mediante la prueba t-Student con un nivel de significancia del  $\alpha/2 = 2.5\%$ .

Se determinó a través del modelo, que en promedio debería despacharse 44 clientes más por día en cada punto de venta, no obstante el modelo excluye el evento de clientes insatisfechos en sus pedidos.

Se encontró que existen pérdidas por demanda subestimada de medicamentos que ascienden a \$ 1064.75 semanales debido a la política utilizada para renovar el stock de medicamentos.

Los resultados permitieron concluir que es necesario proyectar otro punto de venta en el negocio e incrementar la frecuencia con la que se realizan los pedidos de la mercadería

### Abstract (in English, 250 words or less):

In this study, the activities that take place on a daily basis at the point of sale of the shopping center FARMICENTRO-MM were simulated according to a conceptual model of discrete events implemented in the 8 Ape Academic Edition Software.

The results allowed the owner of FARMICENTRO-MM to have arguments for rational decision making, which determined the adequacy of its points of sale to increase the total sales volume.

The model was validated using the method of black box by comparison with the real system. The average attention time to the customer, are statistically approximated according to confidence intervals through test t with a level of significance of  $\alpha / 2 = 2.5\%$ .

It was determined through the model, which on average should be dispatched 44 clients per day in each point of sale, however the model excludes the event of dissatisfied customers in their orders.

It was found that there are losses due to demand of underestimated drugs amounting to \$1064.75 per week due to the policy used to renew the stock of medicines. The results allowed to conclude that it is necessary to project another point of sale and increase the frequency of orders of goods.

### Palabras clave (entre 4 y 8):

Modelo conceptual, modelos de simulación, verificación, validación

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	1
1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	2
1.3 Enfoque y método seguido.....	2
1.4. Planificación del proyecto.....	2
1.5 SUMARIO DE PRODUCTOS OBTENIDOS.....	3
1.6 DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS DE LA MEMORIA.....	3
2. DISEÑO DEL MODELO CONCEPTUAL.....	4
2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	4
2.2 OBJETIVOS DEL MODELO.....	4
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
2.4 VARIABLES DE ENTRADA.....	4
2.5 VARIABLES DE SALIDA.....	4
2.6 COMPONENTES DEL SISTEMA.....	5
2.7 ALCANCE DEL MODELO.....	5
2.8 NIVEL DE DETALLE DEL MODELO.....	5
2.9 SUPUESTOS.....	5
2.10 SIMPLIFICACIÓN.....	5
2.11 HIPÓTESIS.....	5
2.12 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	5
2.13 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN.....	6
2.14 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS.....	7
2.14.1 PRUEBA CHI-CUADRADA.....	7
2.14.2 PUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	9
2.15 SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE SIMULACIÓN.....	12
2.16 CODIFICACIÓN DEL MODELO.....	13
2.17 VALIDACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL.....	13
2.17.1 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO LÓGICO.....	13
2.18 VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	13
2.19 EXPERIMENTACIÓN.....	20
2.20 IMPLEMENTACIÓN.....	21
3. CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO.....	22
3.1 CONCLUSIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	22
3.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LOS MEDICAMENTOS DE MAYOR DEMANDA.....	23
3.3 RECOMENDACIONES.....	23
4. GLOSARIO.....	23
5. BIBLIOGRAFÍA.....	23
6. Anexos.....	24
6.1 CODIFICACIÓN DEL MODELO.....	24
6.1.1 REPRESENTACIÓN DEL MODELO EN EL SOFTWARE SIMIO.....	24

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 .....	3
Figura 1. 2 .....	3
Figura 2. 1 .....	6
Figura 2. 2 .....	7
Figura 2. 3 .....	8
Figura 2. 4 .....	9
Figura 2. 5 .....	10
Figura 2. 6 .....	11
Figura 2. 7 .....	11
Figura 2. 8 .....	12
Figura 2. 9 .....	12
Figura 2. 10 .....	14
Figura 2. 11 .....	15
Figura 2. 12 .....	15
Figura 2. 13 .....	16
Figura 2. 14 .....	17
Figura 2. 15 .....	17
Figura 2. 16 Comparación de los resultados del modelo de simulación con los datos del sistema real.	19
Figura 2. 17 .....	20
Figura 2. 18 .....	21
Figura 2. 19 Demanda de medicamentos insatisfecha.	22
Figura 6. 1 .....	24
Figura 6. 2 .....	25
Figura 6. 3 .....	25
Figura 6. 4 .....	26
Figura 6. 5 .....	27
Figura 6. 6 .....	27

## **1. INTRODUCCIÓN.**

Las caídas de las ventas del centro comercial FARMICENTRO MM, del Cantón Machala Provincia de El Oro, en un 30% en el año 2016, se debe, a que los puntos de venta que operan en la actualidad, son insuficientes para despachar la clientela diaria que acude al lugar, la falta de stock de medicamentos que no considera a los de mayor rotación afectan también su productividad.

La metodología utilizada en la búsqueda de la solución al problema tiene dos enfoques, el primero se basa en el diseño de un modelo de simulación, para recrear la realidad de las operaciones de los puntos de venta del centro comercial con una precisión del 95 % y probar el supuesto de la pérdida experimentada en las ventas además se verificó la hipótesis adicional de que la baja productividad del centro comercial está afectada, por su stock de medicamentos, que no conserva los medicamentos de mayor rotación de la zona de operación del local comercial, permitiendo así pérdidas en ventas por demanda subestimada de productos

El trabajo se desarrolló para proporcionarle al gerente propietario del local comercial una solución sistemática, que le permita mejorar la situación económica que atraviesa su negocio en la actualidad. El primer paso se realizó con la observación y el análisis del sistema in situ, supervisando las actividades y recolectando información, en sus puntos de venta, información referente a los tiempos de atención al cliente, número de clientes que llegan al local comercial en una hora y frecuencia de medicamentos insatisfechos Posteriormente se identificaron los datos que se utilizarán en el modelo de simulación y los que servirán en el análisis estadístico-descriptivo del stock de medicamentos, el segundo paso, estuvo marcado por el diseño del modelo conceptual del sistema, verificación del modelo, validación del modelo, implementación del modelo y análisis de los resultados. Finalmente para concluir este estudio se recogieron las estadísticas de los productos de mayor demanda en la zona para compararlos con los medicamentos que reposan en el stock del centro comercial.

### **1.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.**

El centro comercial FARMICENTRO MM, se dedica a la venta de medicina para consumo humano, inició sus operaciones en el año de 1995, su horario de atención es de 7 Am a 7 Pm, sus ventas, se han reducido aproximadamente en un 30% y en lo que va del 2016, no se observan mejoras, este problema nos brinda la oportunidad de utilizar métodos cuantitativos, para buscar una solución al problema, por su alto grado de confiabilidad, a la hora de tomar decisiones y por lo eficacia que brindan, al gestionar, procesar y analizar datos (1), el método que vamos a implementar en la búsqueda de la solución, es la simulación de eventos discretos, mediante el diseño de un modelo conceptual, que recree la realidad del sistema con un grado de precisión del 95 %, esto nos permitirá evaluar los puntos de venta del centro comercial, para determinar, si estos son suficientes, para despachar los pedidos de los clientes de forma oportuna y no permitir tiempos de espera extensos, que hagan emigrar a los clientes a los negocios de la competencia. Posteriormente, se analizará el stock de medicamentos, para determinar si los pedidos semanales, son suficientes para satisfacer la demanda de medicamentos, en el periodo de revisión, más la demanda durante los tiempos de espera, es decir vamos a verificar si la demanda de medicamentos excede el nivel de reposición actual del stock.

## OBJETIVOS DEL TRABAJO

- Analizar las actividades de las ventas, que se realizan a diario en el local comercial FARMICENTRO MM, para obtener los datos de entrada del modelo de simulación.
- Diseñar el modelo conceptual para FARMICENTRO MM, que simule la realidad, del proceso de atención al cliente, con una precisión del 95 %, corrido en el Software Simio 8 Academic Edition, para verificar, la suficiencia de puntos de venta del local comercial.
- Identificar los medicamentos de mayor demanda, analizando las estadísticas de las ventas, para determinar, si es stock de medicamentos del negocio, es adecuado, para no permitir pérdidas en ventas por demanda subestimada.

### 1.3 Enfoque y método seguido.

Para identificar el factor que determina la baja productividad del negocio, por la baja de sus ventas, se analizará el sistema observando la ejecución de las operaciones que se realizan a diario en sus puntos de venta y así recolectar los tiempos de atención al cliente y sus respectivos tiempos de llegada, para utilizarlos como datos de entrada en el modelo conceptual del sistema, de esta forma se podrá determinar, si el número de puntos de venta que operan en la actualidad en el centro comercial, son suficientes, para no permitir tiempos de espera excesivos, que hagan emigrar a los clientes a los negocios de la competencia. El segundo enfoque que se implementará, está basado en el análisis descriptivo, de las estadísticas de las ventas diarias del local comercial, para determinar, si el stock de medicamentos, conserva las medicinas de mayor rotación en la zona de operación del local comercial y de esta forma, verificar si existen pérdidas por demanda subestimada.

### 1.4. Planificación del proyecto.

Para la ejecución del proyecto, es necesario analizar el sistema en sus operaciones diarias, esto requiere de la supervisión de los puntos, considerados fundamentales para lograr los objetivos planteados, para cumplir con las tareas planificadas, no se necesitan recursos económicos, sólo son necesarios recursos humanos. La planificación temporal del proyecto, se puede observar en la figura 1.1 y el avance en la figura 1.2.

PROYECTO: TRABAJO DE FIN DE MÁSTER INGENIERÍA COMPUTACIONAL Y MATEMÁTICA				
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FECHA INICIO	DURACIÓN	FECHA TERNINACIÓN
1	ANÁLISIS DEL SISTEMA	24/10/2016	10	03/11/2016
2	RECOLECCIÓN DE DATOS	04/11/2016	20	24/11/2016
3	ANÁLISIS DE LOS DATOS RECOGIDOS	25/11/2016	20	15/12/2016
4	DISEÑO DEL MODELO CONCEPTUAL	16/12/2016	20	05/01/2017
5	CODIFICACIÓN DEL MODELO EN SIMIO	06/01/2017	5	11/01/2017
6	ANÁLISIS DE LOS DATOS DE SALIDA DEL MODEO	12/01/2017	15	27/01/2017

7	IDENTIFICACIÓN DE MEDICAMENTOS DE MAYOR DEMANDA	28/01/2017	5	02/02/2017
8	REVISIÓN DEL STOCK DE MEDICAMENTOS	03/02/2017	5	08/02/2017
9	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO	09/02/2017	5	14/02/2017

Figura 1. 1

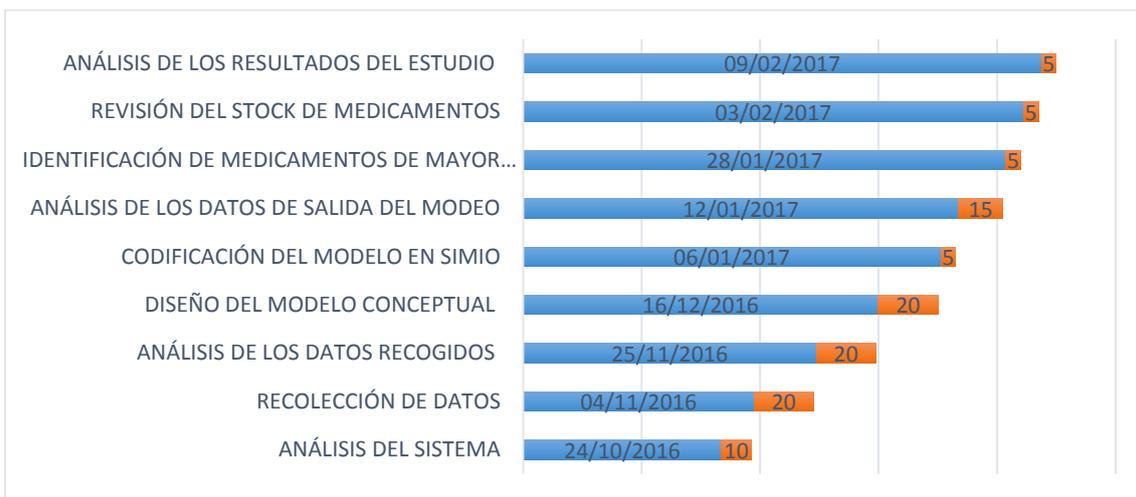


Figura 1. 2

### 1.5 SUMARIO DE PRODUCTOS OBTENIDOS.

Los resultados obtenidos, del modelo de simulación, establecen que parte del problema, radica en los dos puntos de venta del centro comercial, estos no son suficientes para despachar a toda su clientela, se ha establecido por comparación del modelo con el sistema real que en promedio deberían ser atendidos diariamente aproximadamente 40 clientes más. Un segundo resultado y no menos importante, es que el stock de medicamentos, se actualiza cada semana y durante este periodo de espera, el stock no satisface la demanda de medicamentos de mayor rotación, esto representa en promedio una pérdida aproximada de 1064.75 dólares semanales.

### 1.6 DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS DE LA MEMORIA

En nuestro estudio, el capítulo dos, está dedicado a la recolección de los datos de entrada del modelo y la determinación del tipo de distribución de los mismos, para su posterior utilización en el modelo de simulación, para determinar el tipo de distribución de probabilidad, que mejor representa los tiempos de despacho, y el tiempo entre llegadas de los cliente, se realizó dos pruebas de bondad de ajuste, la Chi-cuadrada y la de Kolmogorov-Smirnov, con un grado de significancia del 5 %, los resultados de su aplicación, establecieron, que la distribución de probabilidad que mejor representa los tiempos de despacho de clientes, es la de Erlang y la que mejor representa los tiempos entre llegadas de los clientes es la distribución de probabilidad de Poisson, este capítulo contiene también el diseño del modelo conceptual, este es el punto medular del estudio, básicamente, es la representación de nuestro sistema, esta representación tiene que

ser lo más inequívoca, con el fin de simplificar el proceso de aplicación y la comunicación entre los actores involucrados en el proyecto, los elementos principales de nuestro modelo conceptual son, los objetivos, los datos de entrada, los datos de salida, el alcance, el nivel de detalle, los supuestos y las simplificaciones (2), además en el capítulo dos, se analizara las estadísticas de las ventas diarias del local comercial, este análisis nos permitió determinar, los medicamentos de mayor rotación de la zona y revelará la eficacia del stock de las medicinas, frente al supuesto de pérdidas por demanda subestimada de medicamentos.

## **2. DISEÑO DEL MODELO CONCEPTUAL.**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

El centro comercial FARMICENTRO MM, es una pequeña empresa, que se dedica a la venta de medicina de consumo humano, el local comercial cuenta con dos puntos de venta, el punto de venta 1 y punto de venta 2, con dos vendedores, para despachar los pedidos de sus clientes, en la sección 2.14 se muestra toda la metodología implementada para determinar que el proceso de atención en los puntos de venta 1 y 2, siguen una distribución probabilística de Erlang, con una media de 2,53 minutos/cliente y un parámetro de forma de  $K = 1$ , en el punto de venta 1, el punto de venta 2, tiene una media de procesado de 2,491 min, e igual parámetro de forma, la capacidad para despachar pedidos en los puntos de venta es de un cliente a la vez, además en la sección 2.14 se determinó también que los tiempos entre llegadas de los clientes, siguen la distribución de Poisson, con una media de 24 Clientes/hora. El proceso de atención inicia, con la llegada de los clientes, estos tienen que elegir un punto de venta para ser atendidos, si los puntos de venta están ocupados, el cliente espera en la cola hasta que haya un punto de venta libre, un vez que el cliente llega al punto de venta, es despachado por el vendedor y finalmente se retira del sistema, desde el 2015 las ventas del centro comercial se han reducido aproximadamente en un 30 %, el gerente del centro comercial, está preocupado por las pérdidas de sus utilidades y necesita identificar el problema para implementar cambios en su negocio, que hagan mejorar radicalmente esta situación.

### **2.2 OBJETIVOS DEL MODELO.**

Determinar la suficiencia de los puntos de venta del local comercial FARMICENTRO MM, diseñando un modelo conceptual, que represente la realidad de las operaciones realizadas en sus puntos de venta, con una precisión del 95 %, implementado el modelo en el Software Simio 8 Academic Edition.

### **2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los tiempos medios de atención al cliente en los puntos de venta de FARMICENTRO MM, mediante el modelo de simulación.
- Determinar el número máximo de clientes atendidos, en un día de labores por los puntos de venta, a través del modelo de simulación

### **2.4 VARIABLES DE ENTRADA.**

Las variables de entrada del sistema son, horarios de atención, los tiempos medios de procesado en los puntos de venta, el número de clientes que llegan al local comercial en una hora.

### **2.5 VARIABLES DE SALIDA.**

Las variables de salida del sistema son, el tiempo medio de atención en los puntos de venta, tiempo medio de espera en la cola, el número de clientes despachados.

## 2.6 COMPONENTES DEL SISTEMA.

Las componentes del sistema están constituidos por los puntos de venta, los vendedores, los clientes, los medicamentos puestos en venta, las estanterías, frigorífico.

## 2.7 ALCANCE DEL MODELO.

El modelo conceptual del centro comercial FARMICENTRO MM, se ha diseñado para determinar la suficiencia de los puntos de venta, de tal manera que sólo será necesario incluir en el modelo, los clientes y los dos puntos de venta.

## 2.8 NIVEL DE DETALLE DEL MODELO.

COMPONENTE	DETALLE	INCLUIDO/EXCLUIDO	OBSERVACIÓN
Clientes	Número de clientes que llegan en una hora	Incluido	Requerido para determinar el tiempo medio de la llegada de clientes.
Puntos de venta	Tiempo de atención al cliente.	Incluido	Requerido para determinar el número de clientes despachados en la jornada de labores.
Puntos de venta	Facturación	Excluido	Su tiempo de ocurrencia está incluido en el tiempo medio de atención.
Puntos de venta	Entrega de factura y despacho	Excluido	Su tiempo de ocurrencia está incluido en el tiempo medio de atención.

## 2.9 SUPUESTOS.

- Se considerará que los pedidos que realizan los clientes en sus recetas médicas, son homogéneas, es decir, no habrá diferencias entre un pedido y otro.
- Se considerara que los puntos de venta laboran sin interrupciones, ya que el tiempo para almorzar, de los vendedores es de treinta minutos, es decir todos los días durante 60 minutos, habrá un solo punto de venta despachando los clientes, esto no afecta al sistema, ya que la afluencia de clientes baja durante la hora de almuerzo.
- Cuando un cliente ingresa a la cola de un punto de venta, no podrá cambiar su posición hasta ser despachado.

## 2.10 SIMPLIFICACIÓN.

En el sistema en general mantendrá su funcionamiento básico, los eventos que se excluyen del modelo son, la entrega de recetas por parte de los clientes, el proceso de facturación, y el despacho de los medicamentos por parte de los vendedores, estos eventos se excluyen del modelo, ya que su tiempo de ocurrencia, está incluido en los tiempos medios de atención al cliente.

## 2.11 HIPÓTESIS.

- Los puntos de venta que operan en la actualidad en el centro comercial, no son suficientes para despachar a toda su clientela

## 2.12 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema inicia, con la llegada de los clientes, el cliente elige un punto de venta disponible, si no hay puntos de venta disponibles, el cliente espera su turno en la cola, si hay puntos de venta disponibles, el cliente entrega su receta al vendedor, este último

verifica la existencia de los medicamentos registrados en la receta, si el vendedor cuenta con los medicamentos solicitados, el vendedor factura el pedido, el cliente paga el medicamento y finalmente, el vendedor entrega el medicamento al cliente, y finalmente abandona el local comercial, el diagrama de flujo del modelo del sistema se puede observar en la figura 2.1.

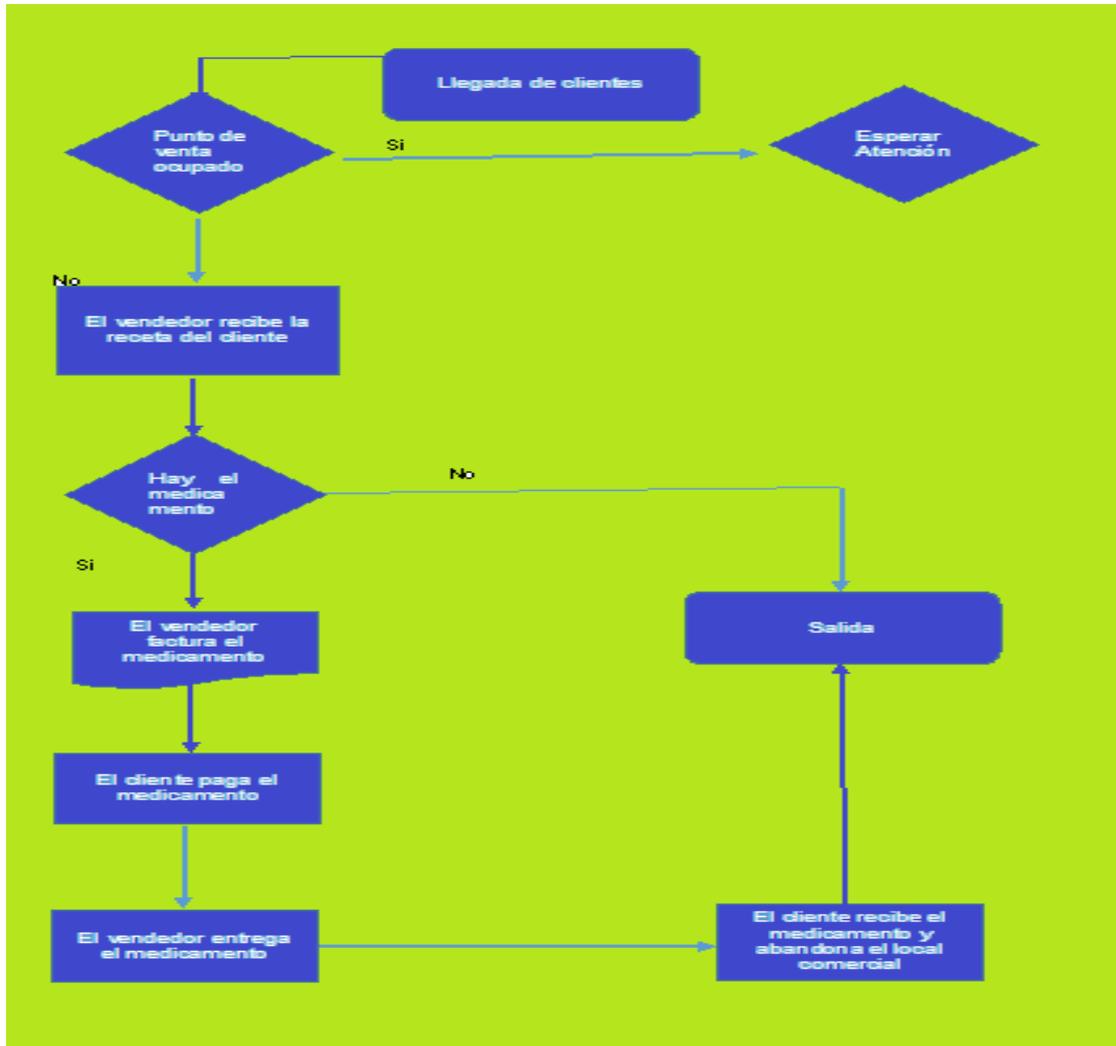


Figura 2. 1

### 2.13 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN.

El punto medular, para el análisis del problema, a través del desarrollo de modelos de simulación de eventos discretos, lo constituyen sus dos puntos de venta, basándonos en el supuesto, de que el número de puntos de venta, en el local comercial son insuficientes para procesar su clientela a diario, la variable de salida del sistema, que nos ayudaría a identificar el problema, sería el número de clientes despachados en las jornadas diarias de labores, en los puntos de venta, esta variable depende de forma directa de los tiempos medios de atención al cliente y de los tiempos entre llegadas de los de los mismos, entonces es necesario definir la variable de decisión del modelo, en nuestro caso esta variable la constituye el tiempo medio de atención al cliente. Para recoger los tiempos de atención al cliente, en cada punto de venta, se utilizó un cronómetro con una precisión de dos centésimas de segundo, para determinar los tiempos entre llegadas de los clientes, se registrará el número de clientes, que ingresan al negocio en una hora, estos datos se recogieron durante una semana.

## 2.14 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS.

Para determinar la distribución de probabilidad, que mejor represente, los tiempos de atención al cliente y los tiempos entre llegadas de los mismos, nos hemos basado en distribuciones teóricas de tipo continuo y discreto, además como los tiempos de atención al cliente, son tiempos necesarios para completar tareas, las distribuciones de probabilidad propuestas son la de Erlang, Beta, Gamma y la Lognormal (3).

La metodología que vamos a implementar, se resume en tres pasos, en primer lugar, debemos seleccionar una distribución de probabilidades, el segundo paso es determinar los parámetros de la distribución elegida y finalmente debemos realizar la prueba para la bondad de ajuste de nuestros datos (3).

Hora aplicaremos esta metodología para determinar la distribución de frecuencias que más se ajusta a nuestros datos, vamos a inspeccionar los datos, diseñando un histograma y luego compararlo con las distribuciones que mencionamos anteriormente.

Para diseñar la distribución de frecuencias de los tiempos de atención y luego presentarlos a través de un histograma, se diseñó una hoja electrónica, programada en Excel 2013, el histograma se puede observar en la figura 2.2.

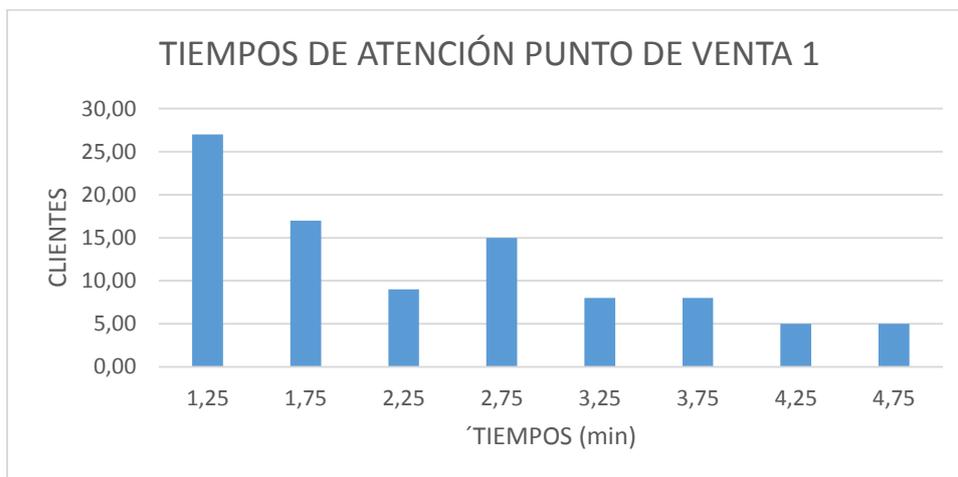


Figura 2. 2

La distribución que mejor se ajusta a nuestros datos, es la Erlang, ahora vamos a contrastar esta hipótesis, con la prueba para la bondad de ajuste, en este caso vamos a emplear la prueba Chi-cuadrada y la de Kolmogorov\_Smirnov, para obtener mejores resultados (4), estos resultados, se programó una hoja de cálculo en Excel 2013, las hipótesis quedaron planteadas así.

$H_0$  = Los tiempos de atención al cliente, del día lunes, en el punto de venta 1, siguen la distribución de probabilidad de Erlang, con  $\bar{x} = 2.63$  y  $K = 2$ .

$H_1$  = Los tiempos de atención al cliente, del día lunes, en el punto de venta 1, no siguen la distribución de probabilidad de Erlang.

### 2.14.1 PRUEBA CHI-CUADRADA

Esta prueba de hipótesis, se fundamenta, en el cálculo de un estadístico de prueba, que se compara, con el valor crítico  $\chi^2$ , con un nivel de significancia  $\alpha = 5\%$ , que se obtiene, a partir de las tablas, es de resaltar que esta prueba se puede aplicar a cualquier tipo de datos, pero presenta un inconveniente, cuando la variable está agrupada, en intervalos, si existen más de dos intervalos, no se podrá utilizar la prueba, si más del 20% de las celdas tiene una frecuencia esperada menor de cinco. (5). La expresión matemática para la prueba Chi-Cuadrada es la siguiente:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(f_{oi} - f_{ei})^2}{f_{ei}}$$

$\chi^2$ : Estadístico de prueba Chi-Cuadrada.

$f_{oi}$ : Frecuencia observada, en los datos de la muestra.

$f_{ei}$ : Frecuencia esperada.

$K$ : Número de intervalos.

GL: Los grados de libertad de la prueba, para nuestro caso  $GL = K - m - 1$ .

$m$ : Numero de parámetros.

$K$ : Número de intervalos.

Los resultados, de la prueba Chi-cuadrada, del punto de venta 1, tomados en la fecha cinco de diciembre del 2016, se pueden observar en la figura 2.3.

TIEMPOS DE ATENCIÓN AL CLIENTE PUNTO DE VENTA 1 05-12-2016						
TIEMPOS (min)	xi	xi*fi	foi	fei	Chi-cuadrada	
1,00	1,50	1,25	33,75	27,00	23,25	0,61
1,50	2,00	1,75	29,75	17,00	18,88	0,19
2,00	2,50	2,25	20,25	9,00	15,34	2,62
2,50	3,00	2,75	41,25	15,00	12,46	0,52
3,00	3,50	3,25	26,00	8,00	10,12	0,44
3,50	4,00	3,75	30,00	8,00	8,22	0,01
4,00	4,50	4,25	21,25	5,00	6,67	0,42
4,50	5,00	4,75	23,75	5,00	5,42	0,03

Figura 2. 3

Sumando los elementos de la columna Chi-cuadrada, de la figura 2.3 se obtiene el estadístico de prueba calculado,  $\chi^2 = 4.83$ , comparado con el valor crítico de las tablas  $\chi^2_{\alpha=5\%, 5} = 11.07$ , indica que no podemos rechazar la hipótesis nula, ya que no hay evidencia estadística para ello, es decir que, los tiempos de atención al cliente en el punto de venta 1, siguen la distribución de probabilidad de Erlang.

El resumen de los cálculos para los diferentes escenarios de atención al cliente se muestra en la tabla 2.4.

Distribución propuesta, para el punto de venta 1	Grados de libertad	Valores calculados Chi-Cuadrada	Valores críticos tabla.	Regla de decisión	Fecha de recolección de la muestra
Erlang (2.404 min, 1)	5	4.83	11.07	Aceptar la hipótesis nula.	05-12-2016
Erlang (2.594 min, 1)	6	7.83	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	06-12-2016

Erlang (2.452 min, 1)	6	7.94	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	07-12-2016
Erlang (2.581 min, 1)	6	6.29	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	08-12-2016
Erlang (2.708 min, 1)	6	4.52	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	09-12-2016
Erlang (2.441 min, 1)	6	8.89	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	10-12-2016

Figura 2. 4

### 2.14.2 PUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.

La prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov, la vamos a utilizar para contrastar la hipótesis de que los tiempos de atención al cliente en los puntos de venta, siguen la distribución de probabilidad de Erlang, con el objetivo de corroborar, los resultados obtenidos con la prueba Chi-Cuadrada, para asegurar que los datos de entrada en nuestro modelo, produzcan datos de salida con un grado de certeza del 95 %. El estadístico de prueba, se define a partir de la siguiente expresión matemática (4):

$$D = \max |F_{Oai} - F_{AEI}|$$

$D$ : Estadístico de prueba Kolmogorov-Smirnov.

$F_{AOi}$ : Frecuencia relativa acumulada observada.

$F_{AEi}$ : Frecuencia relativa acumulada esperada.

La hipótesis nula y la alternativa se formulan a continuación.

$H_0$  = Los tiempos de atención al cliente, del día lunes, en el punto de venta 1, siguen la distribución de probabilidad de Erlang, con  $\bar{x} = 2.63$  y  $K = 2$ .

$H_1$  = Los tiempos de atención al cliente, del día lunes, en el punto de venta 1, no siguen la distribución de probabilidad de Erlang.

Nivel de significación  $\alpha = 5 \%$ .

Regala de decisión:

Si  $D < D_{crit}$ , se acepta la hipótesis nula  $H_0$ .

Si  $D > D_{crit}$ , se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa  $H_1$ .

La expresión que determina el valor crítico de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, está dado por:

$$D_{crit} = \frac{1,36}{\sqrt{n}}$$

$n$ : Grados de libertad.

$$D_{crit} = \frac{1,36}{\sqrt{n}} = \frac{1,36}{\sqrt{94}} = 0,1403$$

En la figura 2.5, se presenta, el cálculo del estadístico de prueba, se puede apreciar que el resultado para  $D = 0.1387$ , comparando estos resultados, se decide aceptar la

hipótesis de que los tiempos de atención al cliente en los puntos de venta, siguen la distribución de probabilidad de Erlang ya que  $D < D_{crit}$ .

TIEMPOS DE ATENCIÓN AL CLIENTE PUNTO DE VENTA 1 05-12-2016								
Li	Ls	xi	xi*fi	fi	Fi	FAOi	FAEi	D= FAOi-FAEi
1,00	1,50	1,25	33,75	27,00	0,2872	0,2872	0,41	0,1182
1,50	2,00	1,75	29,75	17,00	0,1809	0,4681	0,52	0,0490
2,00	2,50	2,25	20,25	9,00	0,0957	0,5638	0,61	0,0439
2,50	3,00	2,75	41,25	15,00	0,1596	0,7234	0,68	0,0420
3,00	3,50	3,25	26,00	8,00	0,0851	0,8085	0,74	0,0673
3,50	4,00	3,75	30,00	8,00	0,0851	0,8936	0,79	0,1038
4,00	4,50	4,25	21,25	5,00	0,0532	0,9468	0,83	0,1175
4,50	5,00	4,75	23,75	5,00	0,0532	1,0000	0,86	0,1387

Figura 2. 5

El resumen, de la prueba de Kolmogorov-Smirniov, de los tiempos de atención del punto de venta 1, en los seis días de labores, se pueden observar en la figura 2.6 y los resultados de las dos pruebas para el punto de venta 2, se resumen en las figuras, 2.7 y 2.8.

Distribución propuesta para el punto de venta 1	Grados de libertad	Valores de prueba Kolmogorov Smirnov	Valores críticos tabla.	Regla de decisión	Fecha de recolección de la muestra
Erlang (2.404 min, 1)	94	0.1185	0.1403	Aceptar la hipótesis nula.	05-12-2016
Erlang (2.594 min, 1)	96	0.1321	0.1388	Aceptar la hipótesis nula.	06-12-2016
Erlang (2.452 min, 1)	124	0.1175	0.1221	Aceptar la hipótesis nula.	07-12-2016
Erlang (2.581 min, 1)	71	0.0898	0.1614	Aceptar la hipótesis nula.	08-12-2016
Erlang (2.708 min, 1)	96	0.1010	0.1388	Aceptar la hipótesis nula.	09-12-2016

Erlang (2.441 min, 1)	118	0.1164	0.1252	Aceptar la hipótesis nula.	10-12-2016
--------------------------	-----	--------	--------	----------------------------	------------

Figura 2. 6

Distribución propuesta, para el punto de venta 2	Grados de libertad	Valores calculados Chi-Cuadrada	Valores críticos tabla.	Regla de decisión	Fecha de recolección de la muestra
Erlang (2.509 min, 1)	6	8.10	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	05-12-2016
Erlang (2.575 min, 1)	6	7.56	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	06-12-2016
Erlang (2.486 min, 1)	6	6.58	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	07-12-2016
Erlang (2.615 min, 1)	6	6.46	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	08-12-2016
Erlang (2.33 min, 1)	5	4.35	11.07	Aceptar la hipótesis nula.	09-12-2016
Erlang (2.43 min, 1)	6	9.08	12.59	Aceptar la hipótesis nula.	10-12-2016

Figura 2. 7

Distribución propuesta para el punto de venta 2	Grados de libertad	Valores de prueba Kolmogorov Smirnov	Valores críticos tabla.	Regla de decisión	Fecha de recolección de la muestra
Erlang (2.509 min, 1)	112	0.0789	0.1285	Aceptar la hipótesis nula.	05-12-2016
Erlang (2.575 min, 1)	100	0.0861	0.1360	Aceptar la hipótesis nula.	06-12-2016
Erlang (2.486 min, 1)	125	0.0765	0.1216	Aceptar la hipótesis nula.	07-12-2016
Erlang (2.615 min, 1)	147	0.1343	0.1360	Aceptar la hipótesis nula.	08-12-2016

Erlang (2.33 min, 1)	99	0.1323	0.1367	Aceptar la hipótesis nula.	09-12-2016
Erlang (2.430 min, 1)	97	0.0985	0.1381	Aceptar la hipótesis nula.	10-12-2016

Figura 2. 8

Ahora vamos a determinar la distribución de probabilidad, que mejor representa las llegadas de los clientes, en las horas de atención del local comercial, la metodología que emplearemos, es la que utilizamos para determinar la distribución de probabilidad de los tiempos de atención al cliente en los puntos de venta, las hipótesis que se plantearon, para la prueba de ajuste de datos, Chi-cuadrada son las siguientes:

$H_0$  = Las llegadas de los clientes, al local comercial, están representados por la distribución de probabilidad de Poisson, con un promedio de  $\bar{x} = 24$  clientes/hora .

$H_1$  = Las llegadas de los clientes, al local comercial, no están representados por la distribución de probabilidad de Poisson, con un promedio de  $\bar{x} = 24$  clientes/hora .

TIEMPOS ENTRE LLEGADAS DE CLIENTES AL LOCAL COMERCIAL						
CLIENTES /HORA		foi	xi*fi	P(x)	fei	Chi-cuadrada
16,00	18,00	4,00	17,00	0,0630043	4,158283786	0,006025023
18,00	20,00	6,00	19,00	0,103513831	6,831912866	0,101300914
20,00	22,00	11,00	21,00	0,14012588	9,248308065	0,331782269
22,00	24,00	15,00	23,00	0,158896197	10,48714903	1,941979066
24,00	26,00	10,00	25,00	0,153039663	10,10061778	0,001002309
26,00	28,00	11,00	27,00	0,126683031	8,361080014	0,832894636
28,00	30,00	4,00	29,00	0,091051214	6,009380156	0,671884372
30,00	32,00	3,00	31,00	0,057328994	3,783713593	0,162329146
32,00	34,00	2,00	33,00	0,031870991	2,103485435	0,005091186

Figura 2. 9

El estadístico de prueba calculado, es  $\chi^2 = 2.85$ , comparado con el valor crítico de las tablas  $\chi^2_{\alpha=5\%, 5} = 11.07$ , indica que no podemos rechazar la hipótesis nula, ya que no hay evidencia estadística para ello, es decir, el número de clientes que llegan al local comercial, están representados, por la distribución de probabilidad de Poisson, con una media de 24 Clientes/hora, la figura 2.9 resume los resultados.

## 2.15 SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE SIMULACIÓN.

En nuestro proyecto se utilizara el Software Simio 8 Academic Edition, para codificar modelo conceptual, por las siguientes razones:

- Para codificar el modelo, no es necesario tener conocimientos avanzados de programación.
- Permite simular modelos dinámicos animados en 3D, con un amplio rango de variantes.
- Permite concentrarnos en el problema y no en la programación.

- La interfaz de SIMIO, permite al usuario, hacer un seguimiento del modelo, a medida que se van desarrollando los diferentes eventos en la simulación.
- Facilita la verificación y validación de los modelos, ya que los errores pueden ser identificados mientras se ejecuta la simulación.
- Proporciona experimentación interactiva.

## **2.16 CODIFICACIÓN DEL MODELO.**

La codificación del modelo en el Software Simio 8 Academic Edition, se detalla en el anexo 1.

## **2.17 VALIDACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL**

Para la validación de nuestro modelo conceptual, utilizaremos el método de caja negra, específicamente comparando el sistema real con el modelo, para obtener resultados satisfactorios nos planteamos la siguiente interrogante ¿El modelo conceptual, en general representa el sistema real con suficiente precisión para cumplir con los objetivos del estudio de simulación? (3).

### **2.17.1 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO LÓGICO**

Estudiando el sistema, nosotros nos enfocamos principalmente es las operaciones realizadas en los puntos venta y la lógica de las llegadas de los clientes, para compararlos con las partes del modelo, ya que el objetivo del modelo, es verificar la suficiencia de los puntos de venta, se observó en el sistema real, las operaciones del sistema inician con el evento de la llegada de clientes, por lo general se observó que cuando un cliente llega al local comercial, elige el punto de venta con el menor número de clientes en su cola, además cuando no hay clientes en los puntos de venta, la probabilidad de elegir un punto de venta por parte de los clientes es del 50%, todos estos eventos se pueden observar en nuestro modelo, excepto el evento de los cambios de cola que experimentaría un cliente al ver la disminución de la otra, también se omite en el modelo el evento de los clientes que no son satisfechos en sus pedidos, además en el modelo no figuran los eventos como entrega de recetas, verificación de medicamentos, despacho de medicamentos, facturación, ya que el tiempo de ocurrencia de estos eventos están incluidos en los tiempos medios de atención al cliente, creemos que la exclusión de estos eventos no afectara el alcance de nuestro modelo, la lógica del sistema real se puede observar en la figura 2.1.

## **2.18 VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

El modelo de simulación desarrollado para FARMICENTRO MM, es de tipo terminal, ya que el centro comercial, inicia sus labores a las 7 Am y las finaliza a las 7 Pm, por lo tanto se espera que la naturaleza de la salida de la simulación sea de tipo transitoria, ya que la tasa de llegadas de los clientes varia en el avance de la simulación (3).

Para asegurar que los datos de salida del modelo de simulación sean lo más exacto posibles, es decir, para validar el modelo de simulación, se debe considerar el sesgo de inicialización en las corridas y garantizar que el número de datos obtenidos son suficientes (3). Al contar con una simulación de tipo terminal, no se considerara el sesgo de inicialización, en lo que respecta al número de corridas (réplicas), en los modelos con datos de salida muy variados, para obtener resultados satisfactorios, se necesitan más de cinco replicas (3), existen dos métodos para determinar el número de corridas, el método gráfico y el método basado en el cálculo de intervalos de confianza, en nuestro proyecto se aplicara el segundo, ya que al ser un método analítico, la estimación de los promedios de las variables de salida, mostraran mayor precisión, la precisión de los resultados depende del número de corridas (3), si se cuenta con un número de corridas adecuado, los resultados obtenidos con la simulación, serán, más representativos del sistema real. Para obtener el número de réplicas, vamos a utilizar la hoja de cálculo, Excel (Replications.xls) (3), los resultado, que se obtuvieron para los puntos de venta 1

y 2, se pueden observar en las figuras 2.10 y 2.12 respectivamente. La séptima columna de estas tablas, proporciona el porcentaje de desviación del intervalo de confianza, a cada lado de la media, este porcentaje, actúa como una medida de la estrechez del intervalo (3), el número de réplicas lo vamos a seleccionar con un nivel de desviación del 5 %, por lo tanto 15 réplicas, serán suficientes para garantizar la resultados satisfactorio de los datos de salida del modelo, pero con el fin de obtener mayor precisión en los datos de salida, y lograr la mayor estrechez del intervalo de confianza, se adoptaran 70 réplicas, se puede apreciar en las figuras 2.11 y 2.13, que al incrementar del número de réplicas, se logra una curva mucho más plana y por ende logramos mayor estabilidad y precisión en la estimación del intervalo de confianza para los tiempos medios de atención de los puntos de venta.

				Significance level	5,0%		
				Confidence interval			
Replication	Result	Cum. mean average	Standard deviation	Lower interval	Upper interval		% deviation
1	2,6958	2,70	n/a	n/a	n/a		n/a
2	2,3016	2,50	0,279	-0,01	5,00		100,23%
3	2,8134	2,60	0,268	1,94	3,27		25,58%
4	2,6886	2,62	0,223	2,27	2,98		13,52%
5	2,3922	2,58	0,219	2,31	2,85		10,56%
6	2,3862	2,55	0,211	2,32	2,77		8,71%
7	2,6268	2,56	0,195	2,38	2,74		7,06%
8	2,6196	2,57	0,182	2,41	2,72		5,93%
9	2,6598	2,58	0,173	2,44	2,71		5,17%
10	2,9556	2,61	0,203	2,47	2,76		5,55%
11	2,2308	2,58	0,224	2,43	2,73		5,84%
12	2,5842	2,58	0,214	2,44	2,72		5,27%
13	2,328	2,56	0,216	2,43	2,69		5,11%
14	2,3088	2,54	0,218	2,42	2,67		4,96%
15	2,376	2,53	0,215	2,41	2,65		4,70%
16	3,0048	2,56	0,239	2,43	2,69		4,97%
17	2,6496	2,57	0,232	2,45	2,69		4,66%
18	2,1588	2,54	0,245	2,42	2,67		4,79%
19	2,55	2,54	0,238	2,43	2,66		4,51%
20	2,5674	2,54	0,232	2,44	2,65		4,26%
21	2,4906	2,54	0,226	2,44	2,65		4,05%
22	2,3322	2,53	0,225	2,43	2,63		3,94%
23	2,5164	2,53	0,220	2,44	2,63		3,76%
24	2,3844	2,53	0,217	2,43	2,62		3,63%
25	2,6736	2,53	0,215	2,44	2,62		3,50%
26	2,3862	2,53	0,212	2,44	2,61		3,40%
27	2,5116	2,53	0,208	2,44	2,61		3,26%
28	2,832	2,54	0,212	2,45	2,62		3,25%
29	2,8818	2,55	0,218	2,47	2,63		3,26%
30	2,4648	2,55	0,215	2,47	2,63		3,15%

Figura 2. 10

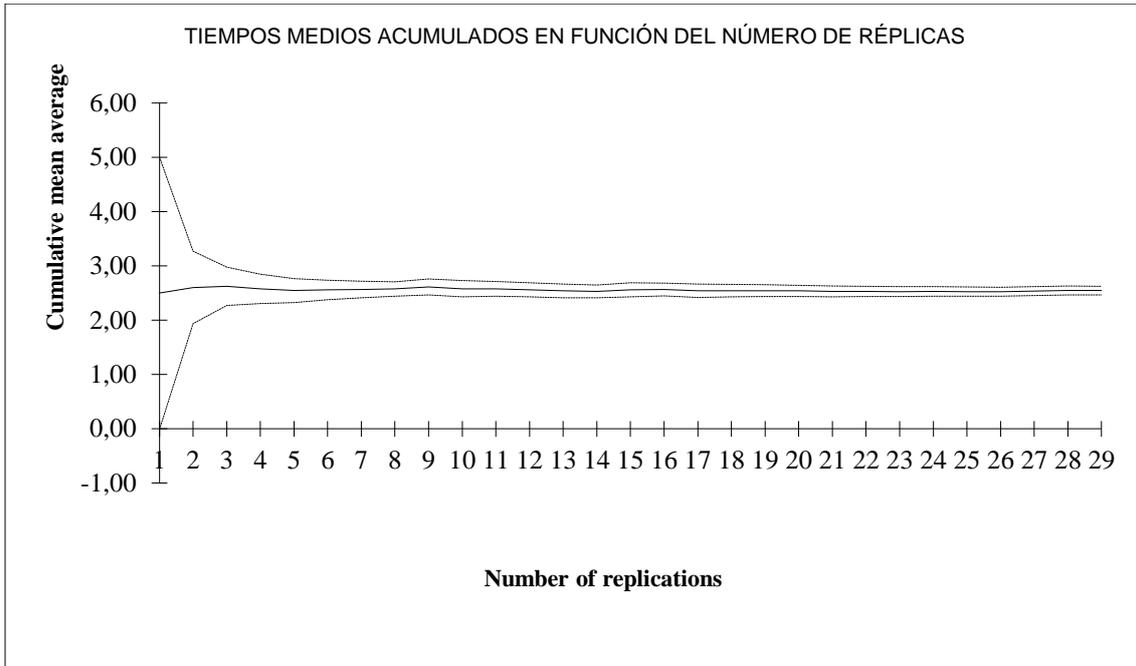


Figura 2. 11

Replication	Result	Cum. mean average	Standard deviation	Confidence interval		% deviation
				Lower interval	Upper interval	
1	2,385	2,39	n/a	n/a	n/a	n/a
2	2,3946	2,39	0,007	2,33	2,45	2,55%
3	2,3292	2,37	0,035	2,28	2,46	3,70%
4	2,9892	2,52	0,311	2,03	3,02	19,61%
5	2,2338	2,47	0,299	2,09	2,84	15,06%
6	2,7228	2,51	0,287	2,21	2,81	12,02%
7	2,5854	2,52	0,264	2,28	2,76	9,68%
8	2,625	2,53	0,247	2,33	2,74	8,16%
9	2,0844	2,48	0,275	2,27	2,69	8,52%
10	2,3466	2,47	0,263	2,28	2,66	7,62%
11	2,3688	2,46	0,251	2,29	2,63	6,87%
12	2,2908	2,45	0,245	2,29	2,60	6,36%
13	2,547	2,45	0,236	2,31	2,60	5,81%
14	2,3322	2,45	0,229	2,31	2,58	5,41%
15	2,46	2,45	0,221	2,32	2,57	5,00%
16	2,6004	2,46	0,217	2,34	2,57	4,70%
17	2,4144	2,45	0,210	2,35	2,56	4,40%
18	2,1912	2,44	0,213	2,33	2,54	4,34%
19	2,472	2,44	0,207	2,34	2,54	4,09%
20	2,8362	2,46	0,220	2,36	2,56	4,19%
21	2,5518	2,46	0,215	2,37	2,56	3,98%
22	2,4984	2,47	0,210	2,37	2,56	3,78%
23	2,5518	2,47	0,206	2,38	2,56	3,61%
24	2,1318	2,46	0,213	2,37	2,55	3,67%
25	2,355	2,45	0,210	2,37	2,54	3,53%
26	2,4198	2,45	0,206	2,37	2,53	3,39%
27	2,4318	2,45	0,202	2,37	2,53	3,26%
28	2,5086	2,45	0,198	2,38	2,53	3,13%
29	2,6646	2,46	0,199	2,38	2,53	3,07%
30	2,4168	2,46	0,195	2,39	2,53	2,97%

Figura 2. 12

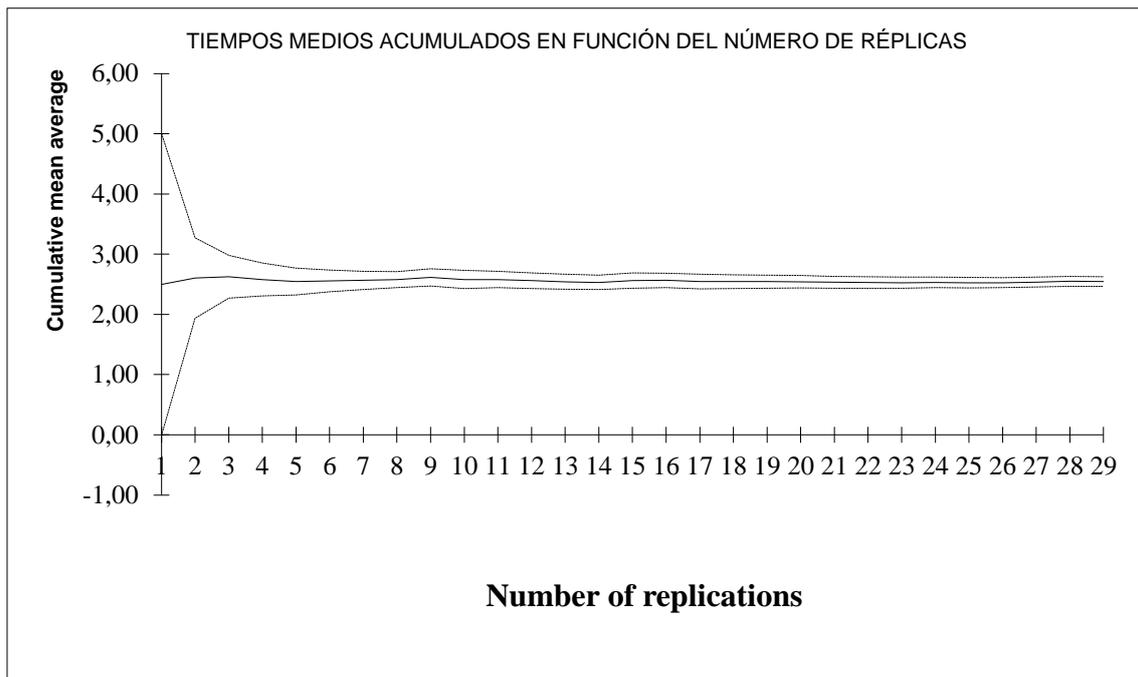


Figura 2. 13

Para validar estadísticamente, el modelo de simulación, vamos a comparar los datos de salida del modelo con los del sistema real, mediante el cálculo de intervalos de confianza mediante la prueba t-Student, la ecuación (3) que nos ayudará, a estimar los intervalos de confianza, se muestra a continuación

$$CI = \bar{x} \pm t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$\bar{x}$ : Promedio de los tiempos de despacho, para de 30 réplicas.

$s$ : Desviación estándar de los tiempos de despacho, para 30 réplicas

$n$ : Número de réplicas.

$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$ : Valor crítico de la distribución t-Student, con n-1 grados de libertad y un nivel de significancia  $\frac{\alpha}{2}$ .

Esta ecuación requiere que los datos de salida de nuestro modelo, sigan una distribución probabilística normal, para realizar la prueba de contraste de hipótesis, se utilizará el software IBM SPSS, versión de prueba número 22, el nivel de significancia es del 5 %.

Los resultados de la prueba de hipótesis de Kolmogorov-Smirnov, de IBM SPSS, STATISTICS, establecen que la distribución de los tiempos medios de despacho a clientes en los puntos de venta, siguen una distribución normal con un promedio de 2.546 min y una desviación estándar de 0.22 min en el punto de venta 1 y un promedio de 2,458 min y una desviación estándar de 0.2 min, en el punto de venta 2, esto se puede apreciar en la tabla 2.14 y 2.15.

### Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de PUNTO DE VENTA 1 MINUTOS es normal con la media 2,546 y la desviación estándar 0,22.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,200 <sup>1,2</sup>	Conserve la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

<sup>1</sup>Lilliefors corregido

<sup>2</sup>Este es un límite inferior de la verdadera significancia.

Figura 2. 14

### Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de PUNTO DE VENTA 2 MINUTOS es normal con la media 2,458 y la desviación estándar 0,20	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,200 <sup>1,2</sup>	Conserve la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

<sup>1</sup>Lilliefors corregido

<sup>2</sup>Este es un límite inferior de la verdadera significancia.

Figura 2. 15

Una vez que se ha comprobado la normalidad de los datos de salida, para los tiempos de despacho, en los puntos de venta, ahora vamos a determinar los intervalos de confianza, con un nivel de aceptación del 95 %, con un promedio de 2.546 min y una desviación estándar de 0.22, en el punto de venta 1, un promedio de 2.458 min y una desviación estándar de 0.20, en el punto de venta 2.

$$IC = \left[ \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}, \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right]$$

$$IC = \left[ 2.546 - \frac{0.22}{\sqrt{30}} * t_{0,025,29}, 2.546 + \frac{0.22}{\sqrt{30}} * t_{0,025,29} \right]$$

$$IC = \left[ 2.546 - \frac{0.22}{\sqrt{30}} * 2.0452, 2.546 + \frac{0.22}{\sqrt{30}} * 2.0452 \right]$$

$$IC = [2.546 - 0.08215, 2.546 + 0.08215]$$

$$IC = [2.464, 2.628]$$

Por lo tanto si se realizan 100 réplicas, esperamos que el 95 % del número de clientes despachados por día, en el punto de venta 1, se encuentre dentro del intervalo [2.464, 2.628].

Punto de venta 2.

$$IC = \left[ \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}, \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right]$$

$$IC = \left[ 2.458 - \frac{0.20}{\sqrt{30}} * t_{0,025,29}, 2.458 + \frac{0.20}{\sqrt{30}} * t_{0,025,29} \right]$$

$$IC = [2.458 - 0.03651 * 2.0452, 2.458 + 0.03651 * 2.0452]$$

$$IC = [2.383, 2.533 \quad ]$$

Por lo tanto si se realizan 100 réplicas, esperamos que el 95 % de del número de clientes despachados por día, en el punto de venta 2, se encuentre dentro del intervalo [2.383, 2.533 ].

### 2.18.1 VALIDACIÓN DE LOS DATOS DE SALIDA

Ahora vamos a validar el modelo de simulación, comparando los datos de salida con los datos del sistema real, con una muestra consistente en setenta datos, correspondientes a los tiempos medios de atención al cliente, en los puntos de venta, el método se basa en la determinación de intervalos de confianza utilizando la aproximación de Paired-t (3), método requiere que las muestras de los datos del sistema y la de los datos de salida del modelo de simulación sean iguales, las expresión matemática para el cálculo de dichos intervalos es la siguiente, planteando la hipótesis nula.

DE<sub>sr</sub>: Datos de entrada del sistema real

DE<sub>sm</sub>: Datos de entrada del del modelo de simulación

DS<sub>sr</sub>: Datos de salida del sistema real

DS<sub>sm</sub>: Datos de salida del modelo de simulación

H<sub>0</sub> = DE<sub>sr</sub> = DE<sub>sm</sub> , entonces DS<sub>sr</sub> = DS<sub>sm</sub>

$$IC = \left[ \bar{x}_{sm} - \bar{x}_{sr} \pm t_{2n-2, \frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{s_{sm}^2 + s_{sr}^2}{n}} \right]$$

s<sub>sm</sub>: Desviación estándar de los datos de salida de la simulación

s<sub>sr</sub>: Desviación estándar de los datos del sistema real

$\bar{x}_{sm}$ : Promedio de los datos de salida de la simulación

$\bar{x}_{sr}$ : Promedio de los datos del sistema real

n: Numero de datos en la muestra

$t_{2n-2, \frac{\alpha}{2}}$ : Nivel de significancia de la prueba t-estudent ,con 2n-2 grados de libertad.

En este caso con una muestra de 100 datos de entrada del sistema real e igual número de datos de salida del modelo, el intervalo de confianza en los puntos de ventas se determinó así:

Punto de venta 1.

$$IC = \left[ (2,51 - 2.53) \pm 1,984 * \sqrt{\frac{1,26 + 0,21}{100}} \right]$$

$$IC = 0,02 \pm 0,24$$

Punto de venta 2.

$$IC = \left[ (2,48 - 2.49) \pm 1,984 * \sqrt{\frac{1,29 + 0,21}{100}} \right]$$

$$IC = 0,01 \pm 0,24$$

En este caso, el intervalo de confianza incluye el cero, por lo tanto podemos establecer que no hay diferencias significativas en los datos de entrada y los datos de salida del modelo de simulación, para el punto de venta 1.

El proceso que se utilizó en la determinación del intervalo de confianza para el punto de venta 2 fue el mismo, el resultado fue

La figura 2.16, compara los tiempos medios de atención al cliente en los puntos de venta, con los tiempos medios que se obtuvieron a partir del modelo de simulación, el tiempo medio semanal de atención al cliente en el punto de venta 1, medido en el sistema real fue de 2.53 min, este tiempo medio, pertenece al intervalo de confianza calculado con la aproximación de Paired-t (3), de los tiempos medios de atención al cliente del punto de venta 1, calculado con los datos de salida del modelo, de igual forma ocurre con los tiempos medios de atención al cliente del sistema real en el punto de venta 2, como cada intervalo de confianza incluye el cero, se establece que no existen diferencias significativas entre los datos del sistema real y los otorgados por el modelo de simulación.

SISTEMA REAL	SIMULACIÓN	SISTEMA REAL	SIMULACIÓN
PUNTO DE VENTA 1	PUNTO DE VENTA 1	PUNTO DE VENTA 2	PUNTO DE VENTA 2
TIEMPO MEDIO DE ATENCIÓN SEMANAL	INTERVALO DE CONFIANZA	TIEMPO MEDIO DE ATENCIÓN SEMANAL	INTERVALO DE CONFIANZA
2.53	[-0.22, 0.26]	2.49	[-0.23, 0.25 ]

Figura 2. 16 Comparación de los resultados del modelo de simulación con los datos del sistema real.

Tratándose de obtener confiables para la toma de decisiones, podemos establecer que los datos de salida de modelo son aceptables.

## 2.19 EXPERIMENTACIÓN.

Para tomar una decisión, que permita mejorar la situación del local comercial, se diseñó dos experimentos, el primer experimento consistió en la comparación de dos escenarios, en el primero se mantienen el estado inicial del modelo, en el segundo escenario, se supone que la distribución de probabilidad de los puntos es la de Erlang, con (2min, 1), para el punto de venta 1 y (1.90 min, 1), para el punto de venta 2, la comparación el número de clientes despachados en los dos escenarios, no se observaron diferencias significativas, por lo tanto podemos concluir que los tiempos de procesamiento no afectan el rendimiento de los puntos de venta. Los resultados obtenidos con Simio para la comparación de los dos escenarios, se pueden observar en la figura 2.17.

PUNTO_VENTA_1 - NumberEntered - Total						
Scenario	Data Source	Category	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Scenario1	Processing	Throughput	139,26667	5,27275	122	156
Scenario2	Processing	Throughput	135,6	6,45472	115	155

PUNTO_VENTA_1 - NumberExited - Total						
Scenario	Data Source	Category	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Scenario1	Processing	Throughput	138,8	5,33362	121	155
Scenario2	Processing	Throughput	135,26667	6,42637	115	154

PUNTO_VENTA_2 - NumberEntered - Total						
Scenario	Data Source	Category	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Scenario1	OutputBuffer	Throughput	147	5,04569	128	158
Scenario2	OutputBuffer	Throughput	149,13333	5,64753	126	165
Scenario1	Processing	Throughput	147,66667	5,00938	128	158
Scenario2	Processing	Throughput	149,4	5,60834	126	165

PUNTO_VENTA_2 - NumberExited - Total						
Scenario	Data Source	Category	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Scenario1	OutputBuffer	Throughput	147	5,04569	128	158
Scenario2	OutputBuffer	Throughput	149,13333	5,64753	126	165
Scenario1	Processing	Throughput	147	5,04569	128	158
Scenario2	Processing	Throughput	149,13333	5,64753	126	165

Figura 2. 17

El segundo experimento, consistió en el incremento de un punto de venta con una distribución de probabilidad de Erlang con (2, 1) minutos para el despacho de clientes, tratando de mantener cierta similitud con los tiempos medios de procesamiento de los puntos de venta del modelo original y manteniendo el estado de otras componentes del modelo, con estos cambios se observó, que el número total de clientes despachados fue de 297, en promedio se atendieron aproximadamente 80 clientes más, los resultados se pueden observar en la figura 2.18.

NumberEntered - Total						
Object Name	Data Source	Category	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Path1	[Travelers]	Throughput	102	NeuN	102	102
Path2	[Travelers]	Throughput	106	NeuN	106	106
Path3	[Travelers]	Throughput	89	NeuN	89	89
Path4	[Travelers]	Throughput	102	NeuN	102	102
Path5	[Travelers]	Throughput	106	NeuN	106	106
Path6	[Travelers]	Throughput	89	NeuN	89	89
PUNTO_VENTA_1	Processing	Throughput	102	NeuN	102	102
PUNTO_VENTA_2	OutputBuffer	Throughput	106	NeuN	106	106
PUNTO_VENTA_2	Processing	Throughput	106	NeuN	106	106
Server1	InputBuffer	Throughput	89	NeuN	89	89
Server1	OutputBuffer	Throughput	89	NeuN	89	89
Server1	Processing	Throughput	89	NeuN	89	89

Figura 2. 18

## 2.20 IMPLEMENTACIÓN.

Con los resultados del modelo de simulación presentados al gerente, se analiza la posibilidad de incrementar los puntos de venta de dos a tres, para mejorar el rendimiento económico del negocio.

## 2.21. ESTUDIO DEL STOCK DE MEDICAMENTOS.

Un segundo enfoque para la solución del problema está en el supuesto de que el stock de medicamentos, permite costos por demanda subestimada, es decir se incurre en pérdidas de la oportunidad de no ordenar unidades de medicamentos, que pudieron ser vendidos (1). Para cumplir con este objetivo, se supervisó los puntos de venta, para identificar los medicamentos de mayor demanda de la zona y además registrar los medicamentos, de clientes insatisfechos en sus pedidos, en 6 días de labores para estimar el costo de subestimar la demanda y analizar si esta pérdida es representativa para el local comercial.

Los resultados establecieron que de cada 10 clientes 3 resultaron insatisfechos, una parte de las estadísticas de los medicamentos que no existieron en el stock, en una semana de labores, se detalla en la figura tabla 2.19.

MEDICAMENTO	CANTIDAD	PVFCIA	PVP	COSTO COMPRA	COSTO VENTA	PERDIDA
FERBIO JARABE	7,00	\$ 10,17	\$ 12,56	\$ 71,19	\$ 87,92	\$ 16,73
TOBRADEX COLIRIO	6,00	\$ 14,08	\$ 16,90	\$ 84,48	\$ 101,40	\$ 16,92
TOBREX COLIRIO	5,00	\$ 10,57	\$ 12,68	\$ 52,85	\$ 63,40	\$ 10,55
PREDNEFRIN FORTE COLIRIO	6,00	\$ 7,26	\$ 8,71	\$ 43,56	\$ 52,26	\$ 8,70
DICETEL TABLETAS	120,00	\$ 0,80	\$ 0,96	\$ 95,52	\$ 114,60	\$ 19,08
DECADURABOLIN ORGAYET AMPOLLAS	10,00	\$ 5,59	\$ 6,70	\$ 55,90	\$ 67,00	\$ 11,10
UVAMIN CAPSULAS	358,00	\$ 0,21	\$ 0,25	\$ 74,29	\$ 89,14	\$ 14,86
AKIM AMPOLLAS	19,00	\$ 4,05	\$ 5,02	\$ 76,95	\$ 95,38	\$ 18,43
LANZOPRAL CÁPSULAS 30 mg	144,00	\$ 1,50	\$ 1,80	\$ 216,00	\$ 259,20	\$ 43,20
MARVELON	16,00	\$ 5,37	\$ 6,44	\$ 85,92	\$ 103,04	\$ 17,12
AMPICILINA 500 mg CÁPASULAS	603,00	\$ 0,12	\$ 0,15	\$ 73,81	\$ 92,26	\$ 18,45
ZOPICLONA MK TABLETAS	344,00	\$ 0,18	\$ 0,19	\$ 60,20	\$ 66,05	\$ 5,85
CEFALEXINA LA SANTE	477,00	\$ 0,22	\$ 0,28	\$ 104,94	\$ 131,18	\$ 26,24
CIPROFLOXACINA 500 mg NIFA	333,00	\$ 0,60	\$ 0,75	\$ 199,80	\$ 249,75	\$ 49,95
CIPRAN TABLETAS	201,00	\$ 0,75	\$ 0,90	\$ 150,15	\$ 180,10	\$ 29,95
ACICLOVIR GENFAR TABLETAS	23,00	\$ 0,48	\$ 0,60	\$ 11,04	\$ 13,80	\$ 2,76
ALOPURINOL TABLETA 300 mg NIFA	988,00	\$ 0,064	\$ 0,08	\$ 63,23	\$ 79,04	\$ 15,81
LORATADINATABLETA 10 mg LA SANTE	156,00	\$ 0,10	\$ 0,13	\$ 16,22	\$ 20,28	\$ 4,06
LOSARTAN TABLETA 100 mg NIFA	200,00	\$ 0,56	\$ 0,70	\$ 112,00	\$ 140,00	\$ 28,00
ANGIOTEN FORTE TABLETAS	366,00	\$ 0,88	\$ 1,05	\$ 320,25	\$ 384,30	\$ 64,05
BUPREX FLASH 400 mg CÁPSULAS LÍQUIDAS	107,00	\$ 0,35	\$ 0,42	\$ 37,24	\$ 44,62	\$ 7,38
IBUPROFENO 600 mg GENFAR TABLETAS	1230,00	\$ 0,11	\$ 0,13	\$ 132,10	\$ 159,90	\$ 27,80
AMLODIPINA TABLETA 10 mg GENFAR	569,00	\$ 0,25	\$ 0,31	\$ 141,68	\$ 176,96	\$ 35,28
DEGRALER TABLETAS	6,00	\$ 16,67	\$ 20,00	\$ 100,02	\$ 120,00	\$ 19,98
NEOGAIVAL 2 mg TABLETAS	569,00	\$ 0,45	\$ 0,54	\$ 256,05	\$ 307,26	\$ 51,21
LAMISIL CREMA	22,00	\$ 6,00	\$ 7,20	\$ 132,00	\$ 158,40	\$ 26,40
ISOFASE CÁPSULAS	95,00	\$ 1,25	\$ 1,50	\$ 118,32	\$ 142,03	\$ 23,70
LACTULOSA ACROMAX JARABE	78,00	\$ 7,80	\$ 9,95	\$ 608,40	\$ 776,10	\$ 167,70
CEFUROXIMA TABLETA 500 mg NIFA	344,00	\$ 0,92	\$ 1,15	\$ 316,48	\$ 395,60	\$ 79,12
CEFUZINE CÁPSULAS	290,00	\$ 1,52	\$ 1,82	\$ 439,93	\$ 527,80	\$ 87,87
CELEBREX CPASULAS	68,00	\$ 1,25	\$ 1,50	\$ 85,00	\$ 102,00	\$ 17,00
YASMIN	33,00	\$ 8,79	\$ 10,54	\$ 290,07	\$ 347,82	\$ 57,75
CALCIBON FOLIC FRASCO	18,00	\$ 11,61	\$ 13,93	\$ 208,98	\$ 250,74	\$ 41,76
						\$ 1.064,75

Figura 2. 19 Demanda de medicamentos insatisfecha.

Los resultados establecen que las pérdidas por demanda subestimada de medicamentos ascienden a \$ 1064.75 semanales, este monto es significativo para los intereses del Gerente propietario, esto se debe principalmente, a la política utilizada para renovar el stock de medicamentos, ya que se realizan 4 pedidos por mes, es decir un pedido por semana, lo cual no es suficiente para satisfacer la demanda diaria de medicamentos.

### 3. CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO.

#### 3.1 CONCLUSIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

- Los tiempos medios, empleados para despachar la clientela en los puntos de venta, dados por el modelo, reflejan la realidad del sistema con una precisión del 95 %.
- Los tiempos promedio de atención al cliente, obtenido a partir de las corridas del modelo de simulación, establecen que el sistema real se debería despachar un promedio diario de 144 clientes por punto de venta, en la actualidad en el sistema real se despachan un promedio diario de 106 clientes, es decir que en promedio se está perdiendo la atención a 44 clientes por día.
- La comparación de los escenarios, establecen que los tiempos medios de atención al cliente, no producen cambios significativos en el modelo, es decir la variación de los tiempos en la experimentación, no afectaron el rendimiento de los puntos de venta.

### 3.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LOS MEDICAMENTOS DE MAYOR DEMANDA

- El stock de medicamentos, no reporta la existencia de medicamentos de mayor rotación de la zona de labores del centro comercial.
- La baja de en los ingresos del negocio, se debe en parte, a la pérdida por demanda subestimada de medicamentos.

### 3.3 RECOMENDACIONES.

- Incrementar los puntos de venta en una unidad, para satisfacer la demanda actual de medicamentos en su totalidad.
- Realizar, cómo mínimo dos pedidos semanales para mejorar el stock de medicamentos para reducir la perdida por demanda subestimada.

## 4. GLOSARIO

**Simulación.-** Es la generación de una historia artificial, del modelo que representa el sistema y con la observación de esa historia artificial, se pueden realizar inferencias sobre las características del funcionamiento del sistema (2).

**Modelo.-** Un objeto  $X$  es un modelo del objeto  $Y$  para el observador  $Z$ , si  $Z$  puede emplear  $X$  para responder cuestiones que le interesan acerca de  $Y$  (MINSKY).

**Modelo conceptual.-** El modelo conceptual es una descripción no específica del software del modelo de simulación que se va a desarrollar, Describiendo los objetivos, insumos, productos, contenidos, supuestos y simplificaciones del modelo (3).

**Eventos.-** Son los cambios en el estado del sistema

**Sistema.-** Conjunto de objetos o ideas que están interrelacionados entre sí como una unidad para la consecución de un fin (Shannon, 1988).

**Simplificación.-** Son formas de reducir la complejidad de un modelo. (3)

**Verificación del modelo.** La verificación es el proceso de asegurar que el diseño del modelo conceptual, ha sido transformado en un modelo de computadora con suficiente precisión (Davis 1992).

**Validación del modelo.-** Es el conjunto de pruebas realizadas con información de entrada real para observar su comportamiento y analizar los resultados

**Réplicas.-** Son las diferentes corridas de un modelo de simulación.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. **ANDERSON, SWEENEY, WILLIAMS, CAMM, MARTIN.** *MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LOS NEGOCIOS.* MEXICO : S.A. DE C.V., UNA COMPAÑÍA DE CENGAGE LEARNING, INC, 2011.
2. **FONSECA, ANGEL A. JUAN & PAU.** *SIMULACIÓN.* ESPAÑA : EURECA MEDIA, SL, 2012.
3. **ROBINSON, STEWART.** *SIMULATION THE PRACTICE OF MODEL DEVELOPMENT AND USE.* CHINA : PALGRAVE MACMILLAN, 2014. SEGUNDA EDICION. [www.wileyurope.com/go/robinson](http://www.wileyurope.com/go/robinson).
4. **GARCIA, GARCIA, CARDENAS.** *SIMULACIÓN Y ANALISIS DE SISTEMAS CON PRODMODEL.* MEXICO : PEARSON, 2013. SEGUNDA EDICION.
5. **LIND, MARCHAL, WATHEN.** *ESTADISTICA APLICADA A LOS NEGOCIOS Y LA ECONOMIA.* MEXICO : MC GRAW HILL, 2012. DECIMOQUINTA EDICION.
6. **MONCHO, ANTONIO CASELLES.** *MODELACION Y SIMULACION DE SISTEMAS COMPLEJOS.* ESPAÑA : PUBLICACIONES DE LA UNIVESITAT DE VALENCIA, 2008.

7. **GARCIA, ÁLVARO.** SIMIO TUTORIAL ALVARO GARCIA. <https://www.youtube.com/watch?v=Qxy8KveKQNk&list=PLZqh3oAyX6qnwfsKpSzHp5nS60NMNj0nD>. [En línea] 16 de MARZO de 2106. [Citado el: 16 de FEBRERO de 2017.]

## 6. Anexos

### 6.1 CODIFICACIÓN DEL MODELO.

#### 6.1.1 REPRESENTACIÓN DEL MODELO EN EL SOFTWARE SIMIO

Ingresamos al entorno de Simio

En la pestaña de la su librería estándar y elegimos dos server, que representaran los puntos de venta y los renombramos como el punto de venta 1 y el punto de venta 2, luego en misma librería seleccionamos dos sink, que representaran las salidas de los puntos de venta, las renombramos como la salida 1 y la salida 2, luego de la librería seleccionamos un source y lo renombramos como entrada de clientes, posteriormente de la librería seleccionamos un modelentity, para representar a los clientes, para finalizar, de la librería seleccionamos cuatro path, el path 1 servira para trasladar las entidades desde el outputbuffer de la entrada al inputbuffer del punto de venta 1, de igual forma el path 2 trasladara los clientes desde la entrada al punto de venta 2, los paths 3 y 4 trasladaran los clientes desde los outputbuffer de los punto de venta a la salida 1 y 2 respectivamente, el modelo se puede observar en la figura 6.1

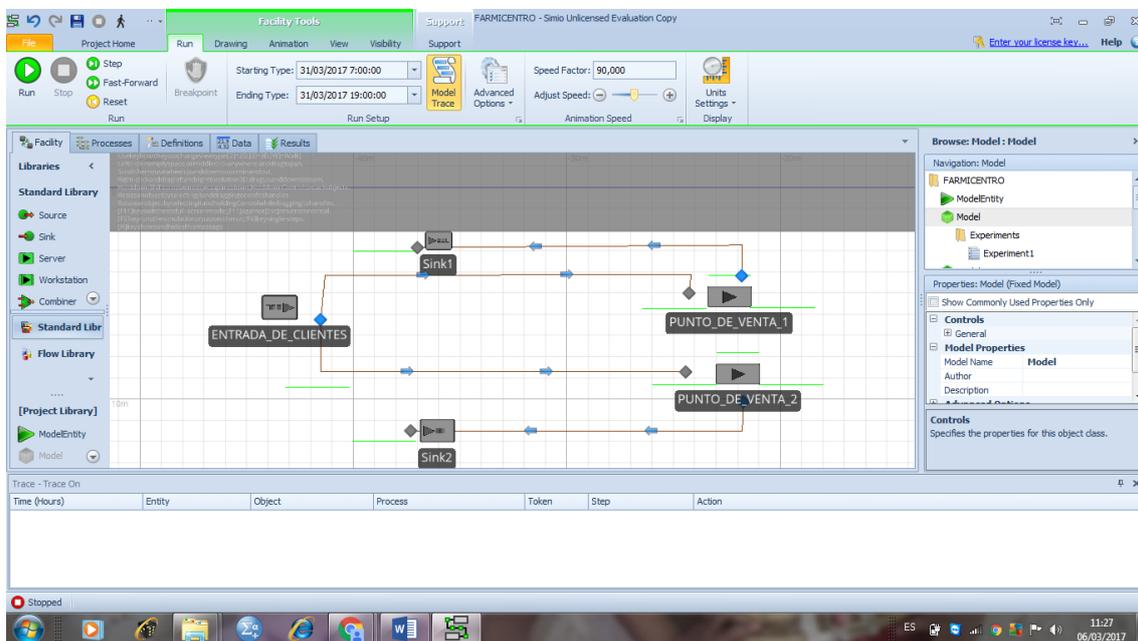


Figura 6. 1

El modelo ya personalizado, utilizando 3D Warehouse, se observa en la figura 6.2.

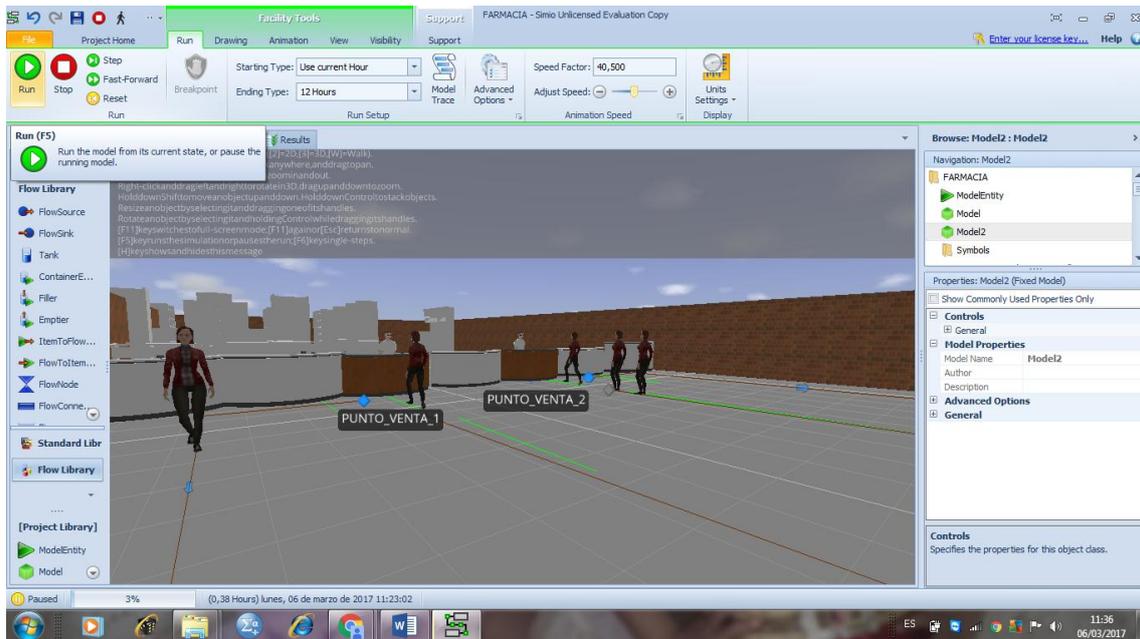


Figura 6.2

El siguiente paso en el diseño del modelo es ingresar los valores para las variables de entrada, seleccionamos el punto de venta 1 y en la ventana de las propiedades del modelo, ingresamos la distribución de probabilidad para los tiempos de procesamiento, en el punto de venta 1 ingresamos la distribución de Erlang, con un promedio de 2.53 min y parámetro de forma de 1, de igual manera lo hacemos con el punto de venta 2, su distribución probabilística es también de Erlang con un promedio de 2.497 min y un parámetro de forma de 1, para el source (entrada de clientes), seleccionamos la distribución probabilística de Poisson, en este caso se espera una llegada de 24 clientes/hora, para ingresar este dato invertimos esta tasa de llegada transformando las horas en minutos, para obtener un promedio de llegada 2.50 min/cliente, este proceso de ingreso de datos se puede observar en la figura 6.3

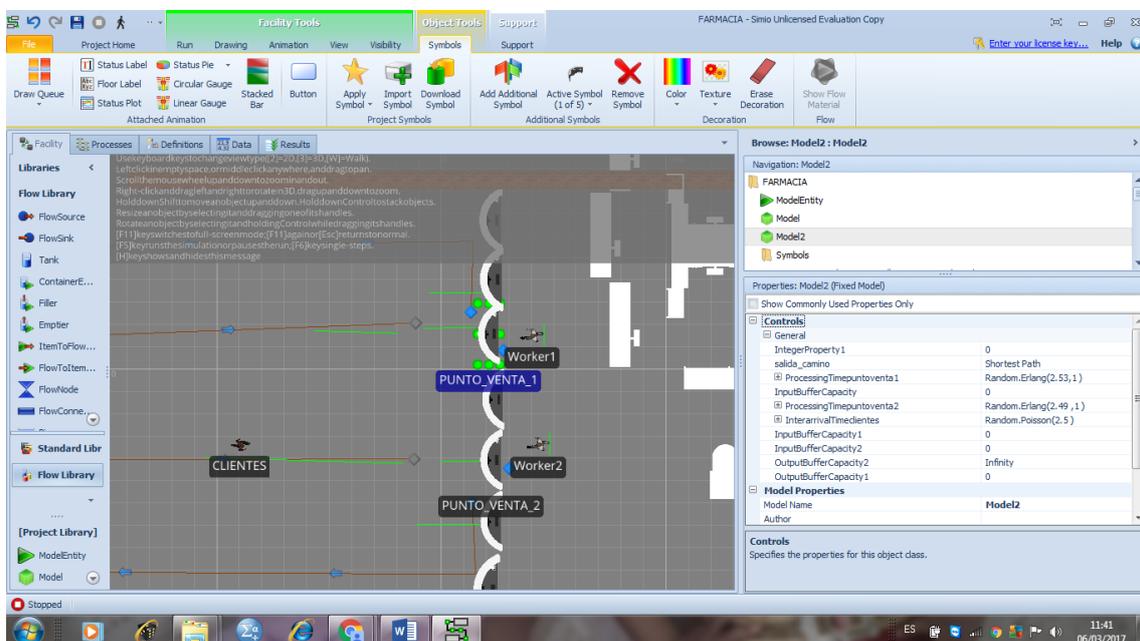


Figura 6.3

Ya estamos en condiciones de realizar la primera corrida del modelo, pero necesitamos dar al modelo la lógica requerida en la selección de los puntos de venta de parte de los clientes, para esto nos basamos en el diagrama de flujo de la figura 2.1.

Cuando un cliente ingresa al negocio escoge el punto de venta, que está vacío o el que posea en su cola el menor número de clientes, para lograr esta lógica en las entidades, creamos un proceso en la columna de las propiedades del output buffer de la entrada de clientes como se observa en la figura 6.4.

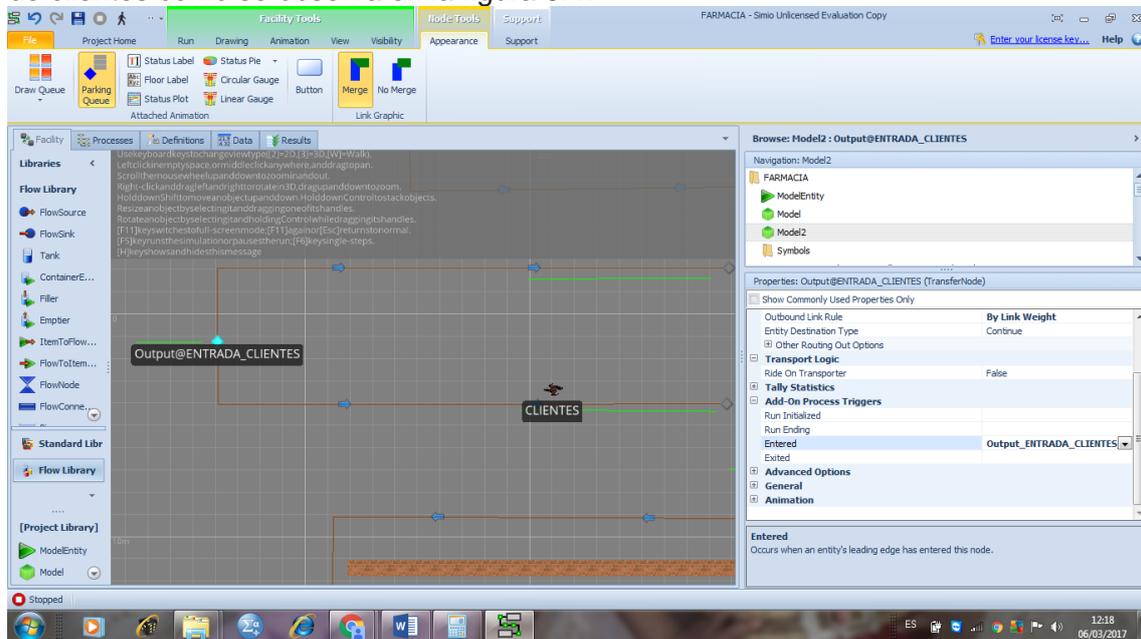
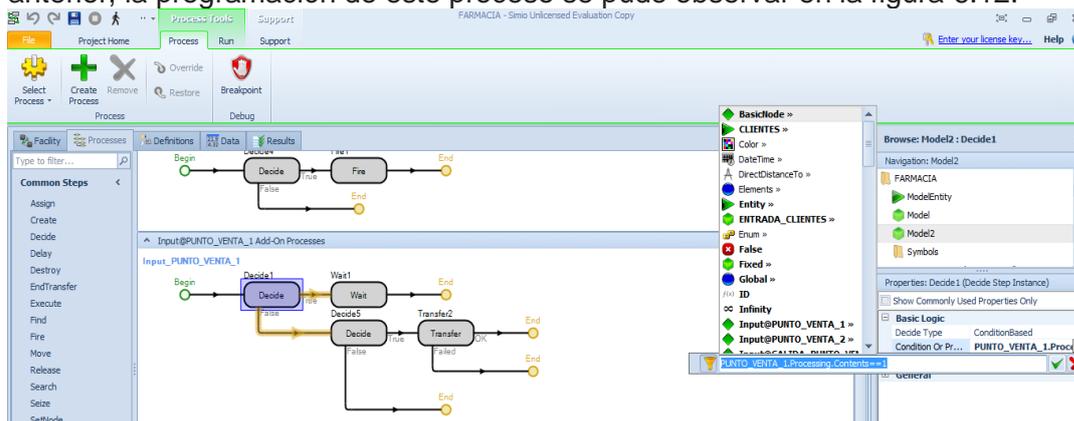


Figura 6.4

Ingresando en la pestaña de processes, del entorno de Simio podemos comenzar a programar la lógica de la elección de los puntos de venta, para esto nos colocamos en el facility y damos clic sobre el inputbuffer del punto de venta 1, en la columna de sus propiedades Add-On Process Triggers, damos clic derecho sobre entered para crear el proceso Input\_punto\_venta\_1, haciendo clic en la pestaña de process, podemos observar este proceso, en la columna common steps, seleccionamos el decide 1, dando clic sobre él se despliega el menú de sus propiedades, ingresamos la sentencia, si `punto_de_venta_1.processing.contents==1&& punto_de_venta_1.inputbuffer.contents == 1`, luego en la rama del true de este decide colocamos un Wait, y lo ligamos con el evento `envent1`, esta sentencia hará que las entidades esperen hasta que se cumpla la condición `punto_de_venta_1.processing.contents==0`, para esto en la columna del false del decide 1, colocamos el decide 2 y en sus propiedades colocamos la sentencia anterior, la programación de este proceso se puede observar en la figura 6.12.



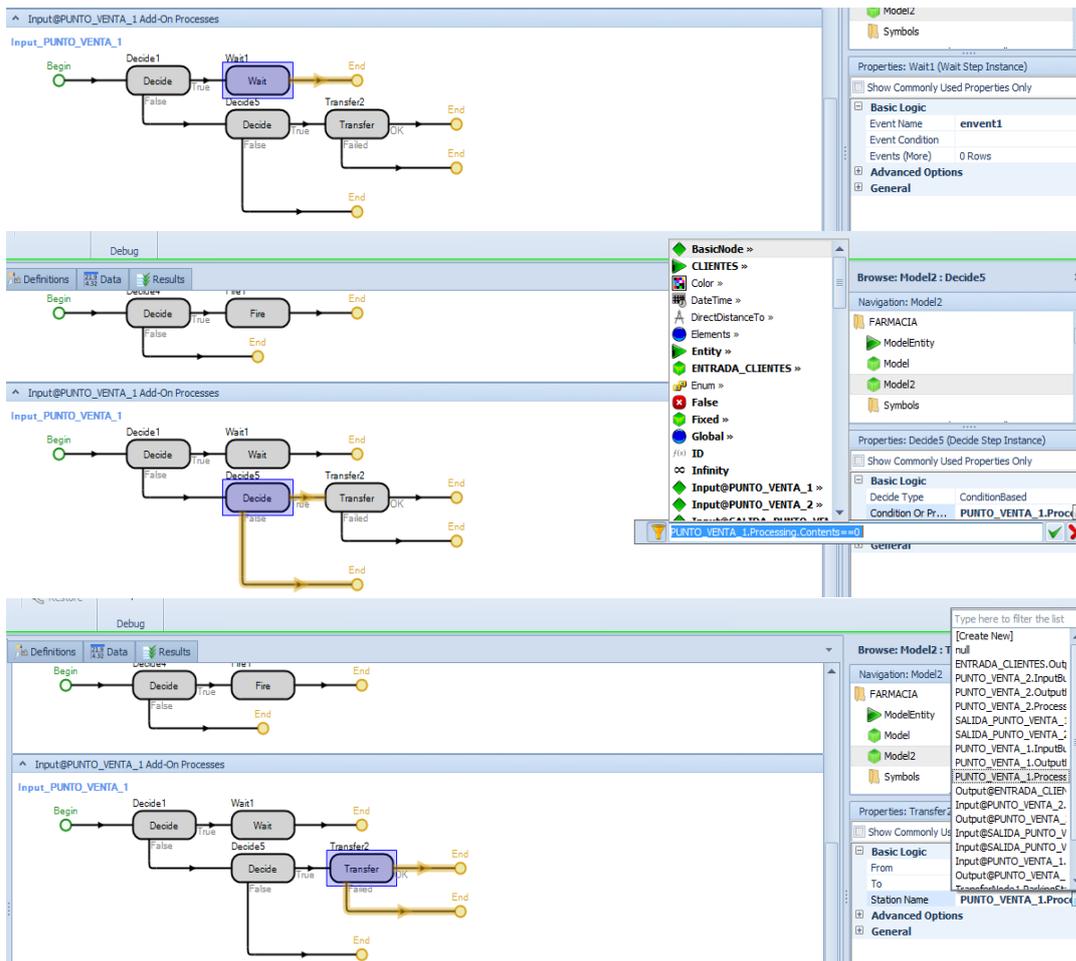


Figura 6. 5

Finalmente ligamos el proceso Input\_PUNTO\_VENTA\_1, al envent1, mediante el process 1, para programar este proceso, seleccionamos en la columna del common steps el decide 1, damos clic sobre él, para desplegar la columna de sus propiedades, y escribir la sentencia `PUNTO_VENTA_1.Processing.Contents==1`, finalmente en la rama del true colocamos el fire 1, damos clic sobre este y en la columna de sus propiedades lo ligamos con el envent1, esto hará que se desencadene el proceso Input\_PUNTO\_VENTA\_1 mediante el event1, la figura 6.13 nos muestra este procedimiento.



Figura 6. 6

El mismo procedimiento utilizamos para programar el proceso Input\_punto\_venta\_2 en el inputbuffer del punto de venta 2.