

INVESTIGACIÓN OPERATIVA

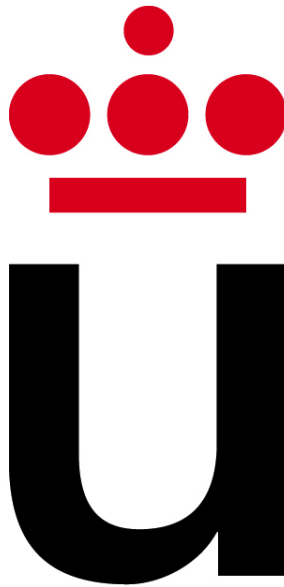
Práctica 2

TEORÍA DE COLAS Y SIMULACIÓN

GII+GIS: Jesús Alcalde Alcázar

Adrián Gutiérrez Jiménez

GIS: Carlos Vázquez Sánchez



MÓSTOLES, 5 DE ENERO DE 2015

Índice

1. <u>Introducción</u>	3
1.1. Análisis del escenario	3
1.2. Representación visual del sistema	4
2. <u>Estudio del modelo</u>	4
2.1. Tasa de uso de cada servidor	4
2.2. Tiempo medio de espera en cada servidor	5
2.3. Tiempo medio de respuesta por cada tipo de trabajo	5
2.4. Tiempo medio de respuesta total	6
3. <u>Simulación y obtención de resultados</u>	6
3.1. Saturación servidores	6
3.2. Tiempo medio de espera en las colas	6
3.3. Tiempo medio de respuesta para cada servicio	7
4. <u>Conclusiones</u>	7
5. <u>ANEXO 1: Cálculos teóricos</u>	8
5.1. Cálculo de las ecuaciones de tráfico	8
5.2. Cálculo del número de operadores	8
5.3. Cálculo de la tasa de uso de cada servidor	9
5.4. Cálculo del tiempo medio de espera en cada servidor	10
5.5. Cálculo del tiempo medio de espera para cada tipo de trabajo	11
5.6. Cálculo del tiempo medio de espera total	12
6. <u>ANEXO 2: Resultados simulación</u>	12

1. Introducción

En este documento se redacta el informe correspondiente al estudio y simulación de un “*CallCenter*”, mediante el cual la empresa de telecomunicaciones *TeleOne* desea implantar su sistema de atención al cliente.

En primer lugar vamos a hacer un análisis de dicho sistema.

1.1. Análisis del escenario

Éste sistema, según nos informa la compañía, puede o debe recibir información a través de tres puntos y que cada uno de éstos es procesado de manera independiente:

- **Llamadas por teléfono:** Se procesan en el “*Servicio de tele-operadores*”. Tienen una media de llegadas de 15 llamadas por minuto (λ_1) y cada petición tarda una media de 15 segundos (\bar{X}_1).
- **Peticiones vía Internet:** Se procesan mediante “*Programas automáticos*”. Tienen una media de llegadas de 20 peticiones por minuto (λ_2) y cada petición tarda una media de 10 segundos (\bar{X}_2).
- **Peticiones vía FAX:** Son procesadas por “*Operadores de fax*”. Tienen una media de llegadas de 3 peticiones por minuto (λ_3) y cada petición tarda una media de 60 segundos (\bar{X}_3).

Se explicita que las peticiones serán procesadas en orden de llegada y que esperaran en caso de que el servidor esté ocupado, por lo que suponemos que cada servidor dispone de una cola infinita para recibir peticiones.

Una vez que son procesados en los servidores mentados anteriormente, las peticiones se trasladan al servicio que corresponda, siguiendo una proporción similar, éstos son los servicios:

- **Consultas sobre facturas:** Cada petición tiene un tiempo medio de servicio de 1 minuto (\bar{X}_4). Llegan hasta aquí el 80 % de las peticiones de cada servidor de llegadas más un 10 % de “*reclamaciones de clientes*”.
- **Solicitudes de nuevos clientes:** Con un tiempo medio de servicio de 3 minutos (\bar{X}_5). Suponen el 10 % de las peticiones de cada servidor de llegadas.
- **Reclamaciones de clientes:** Se tardan 4 minutos de media en atender la petición (\bar{X}_6). Suponen el 2 % de las peticiones de cada servidor de llegadas.
- **Servicio técnico :** Cada petición tiene un tiempo medio de servicio de 5 minutos (\bar{X}_7). Llegan hasta aquí el 8 % de las peticiones de cada servidor de llegadas más un 20 % de “*reclamaciones de clientes*”.

1.2. Representación visual del sistema

Para poder entender mejor el sistema, con los datos proporcionados anteriormente, se ha esbozado el siguiente esquema del sistema utilizando un diagrama TQM (“*Total Quality Management*”):

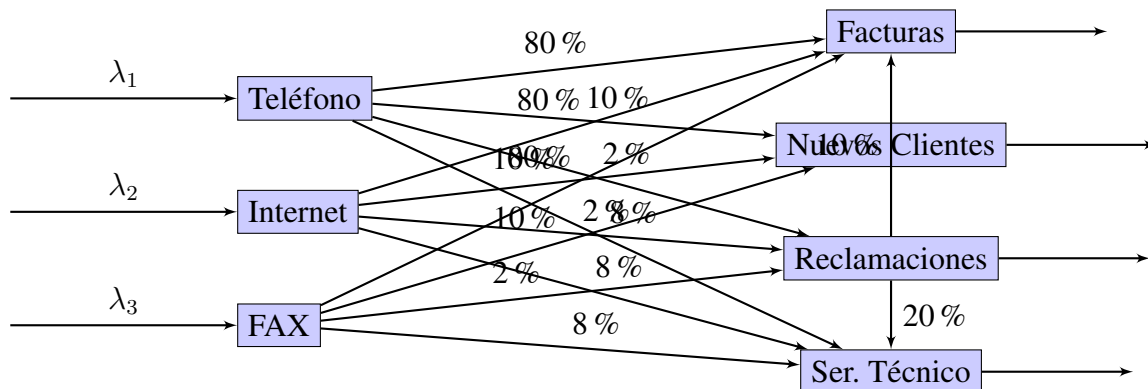


Figura 1: Diagrama TQM del sistema

2. Estudio del modelo

Como primer paso, se ha calculado el número mínimo de operarios necesarios en cada servidor para que se garantice un nivel máximo de saturación del 85 %. Los resultados se adjuntan en la tabla siguiente. Para más información sobre el proceso de obtención de estos datos puede consultarse el *Anexo 1: Cálculos teóricos*.

Servicio	Operadores
Llamadas por Teléfono	5
Peticiones por Internet	4
Peticiones por FAX	4
Consulta Facturas	36
Nuevos Clientes	14
Reclamaciones	4
Servicio Técnico	19

Cuadro 1: Numero de operadores mínimos para lograr una tasa de utilización inferior al 85 %

A partir de estos resultados podemos proceder a un estudio más pormenorizado del sistema. Para ello nos serviremos de los siguientes indicadores: tasa de uso de cada servidor, tiempo medio de espera en cada servidor y tiempo medio de respuesta por cada tipo de trabajo y general.

2.1. Tasa de uso de cada servidor

La tasa de uso de cada servidor se indica en la siguiente tabla. Para más detalles sobre la obtención de estos resultados puede consultarse el *Anexo 1: Cálculos teóricos*.

Servicio	Tasa de uso
Llamadas por Teléfono	75 %
Peticiones por Internet	80 %
Peticiones por FAX	75 %
Consulta Facturas	84,65 %
Nuevos Clientes	82,25 %
Reclamaciones	75 %
Servicio Técnico	84 %

Cuadro 2: Tasa de uso de cada servidor

2.2. Tiempo medio de espera en cada servidor

El Tiempo medio de espera en cada servidor se indica en la siguiente tabla. Para más detalles sobre la obtención de estos resultados puede consultarse el *Anexo 1: Cálculos teóricos*.

Servicio	Tiempo medio de espera en cada servidor (min)
Llamadas por Teléfono	0,2
Peticiones por Internet	0,25
Peticiones por FAX	1
Consulta Facturas	0,18
Nuevos Clientes	0,82
Reclamaciones	4,17
Servicio Técnico	1,79

Cuadro 3: Tiempo medio de espera en cada servidor

2.3. Tiempo medio de respuesta por cada tipo de trabajo

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!ESTOS DATOS ESTÁN MAL!!!!!!!!!!!!!!

El Tiempo medio de espera en cada servidor se indica en la siguiente tabla. Para más detalles sobre la obtención de estos resultados puede consultarse el *Anexo 1: Cálculos teóricos*.

Servicio	Tiempo medio de respuesta por cada tipo de trabajo (min)
Llamadas por Teléfono	0,66
Peticiones por Internet	0,56
Peticiones por FAX	1,46

Cuadro 4: Tiempo medio de respuesta por cada tipo de trabajo

2.4. Tiempo medio de respuesta total

El tiempo medio de respuesta total del sistema resulta de 0,67. Para más detalles sobre la obtención de este resultado puede consultarse el *Anexo 1: Cálculos teóricos*.

3. Simulación y obtención de resultados

Una vez realizados los cálculos teóricos, procedemos a crear un modelo de que represente el sistema indicado y simule su funcionamiento durante 24 horas. Para ellos se ha utilizado el software de IN-CONTROL *Enterprise Dynamics*.

Una vez creado el modelo, simulamos 150 réplicas durante 24 horas, obteniendo los siguientes datos:

Nota: tanto los resultados mostrados directamente por *Enterprise Dynamics* como los cálculos necesarios se adjuntan en el *Anexo 2: Resultados simulación*

3.1. Saturación servidores

Servicio	Nivel de saturación
Llamadas por Teléfono	75 %
Peticiones por Internet	83,25 %
Peticiones por FAX	75 %
Consulta Facturas	84,62 %
Nuevos Clientes	81,38 %
Reclamaciones	76 %
Servicio Técnico	83,75 %

Cuadro 5: Nivel de saturación de cada servidor simulado

3.2. Tiempo medio de espera en las colas

Cola	Tiempo medio de espera (seg)
Llamadas por Teléfono	0
Peticiones por Internet	0
Peticiones por FAX	0
Consulta Facturas	0,01
Nuevos Clientes	11,51
Reclamaciones	67,93
Servicio Técnico	17,16

Cuadro 6: Tiempo medio de espera en cola simulado

3.3. Tiempo medio de respuesta para cada servicio

Servicio	Tiempo medio de respuesta (seg)
Llamadas por Teléfono	115.34
Peticiones por Internet	110.34
Peticiones por FAX	160.34

Cuadro 7: Tiempo medio de respuesta simulado

4. Conclusiones

Tras la realización de este estudio podemos concluir lo siguiente:

- Si se dispone de los operadores mínimos indicados anteriormente, el sistema es estable y la saturación de cada estación multiservicio no sobrepasa el 85 %.
- Los tres primeros servidores (teleoperadoras, programas automáticos y servicios de fax) van a tener una tasa de uso siempre menor al 85 % y no se formarán colas, ya que despachan trabajos a una velocidad mayor de los que los reciben.
- Sin embargo en los cuatro servidores restantes, al depender del azar, si se pueden producir colas. Especialmente delicado es el caso del multiservicio dedicado a las reclamaciones: aunque es el servidor con menos tráfico (1,4 % del total) y trabajar con suficiente margen (75 %), posee un tiempo en cola muy elevado (67,93 segundos) y una desviación estándar alta.

5. ANEXO 1: Cálculos teóricos

Uno de los requisitos especificados para la instalación del nuevo “*Call Center*” es que los servidores tienen que tener una tasa de utilización inferior al 85 %. Para que esta condición se cumpla, ha de cumplirse que:

$$p \leq 0,85 \text{ siendo: } p = \frac{\lambda_n}{m\mu_n} \text{ y } \mu_n = \frac{1}{\bar{X}_n} \quad (1)$$

Para $m = \text{numero de operadores}$, $\mu_n = \text{tasa de servicio } n$, $\bar{X}_n = \text{tiempo medio del servicio } n$ y $\lambda_n = \text{tasa de llegada del servicio } n$.

Por lo que para calcular el número de operadores para cada servicio, basta con:

$$p = \frac{\lambda_n}{m\mu_n} \rightarrow p = \frac{\lambda_n \bar{X}_n}{m} \rightarrow m = \frac{\lambda_n \bar{X}_n}{p} \quad (2)$$

5.1. Cálculo de las ecuaciones de tráfico

Para poder poner en práctica las formula anterior necesitamos saber las tasas de llegada de cada servicio. Para los tres primeros estos datos se corresponden con λ_1 , λ_2 y λ_3 , respectivamente.

Para los demás es necesario saber qué porcentaje de llegadas procede da cada lugar, quedándonos lo siguiente:

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1 \rightarrow I_1 = 15 \\ I_2 &= \lambda_2 \rightarrow I_2 = 20 \\ I_3 &= \lambda_3 \rightarrow I_3 = 3 \\ I_4 &= 0.8 \cdot (I_1 + I_2 + I_3) + 0.1I_6 \rightarrow I_4 = 30.476 \\ I_5 &= 0.1 \cdot (I_1 + I_2 + I_3) \rightarrow I_5 = 3.8 \\ I_6 &= 0.02 \cdot (I_1 + I_2 + I_3) \rightarrow I_6 = 0.76 \\ I_7 &= 0.08 \cdot (I_1 + I_2 + I_3) \rightarrow I_7 = 3.192 \end{aligned} \quad (3)$$

Una vez con estos datos podemos calcular el número de operadores.

5.2. Cálculo del número de operadores

Eso significa que han de cumplirse estos valores:

$$\begin{aligned}
m_1 &= \frac{\lambda_1 \bar{X}_1}{0.85} \rightarrow m_1 = \frac{15 \cdot 0.25}{0.85} \rightarrow m_1 = 4.41 \\
m_2 &= \frac{\lambda_2 \bar{X}_2}{0.85} \rightarrow m_2 = \frac{20 \cdot 0.16}{0.85} \rightarrow m_2 = 3.92 \\
m_3 &= \frac{\lambda_3 \bar{X}_3}{0.85} \rightarrow m_3 = \frac{3 \cdot 1}{0.85} \rightarrow m_3 = 3.52 \\
m_4 &= \frac{\lambda_4 \bar{X}_4}{0.85} \rightarrow m_4 = \frac{30.476 \cdot 1}{0.85} \rightarrow m_4 = 35.85 \\
m_5 &= \frac{\lambda_5 \bar{X}_5}{0.85} \rightarrow m_5 = \frac{3.8 \cdot 3}{0.85} \rightarrow m_5 = 13.41 \\
m_6 &= \frac{\lambda_6 \bar{X}_6}{0.85} \rightarrow m_6 = \frac{0.76 \cdot 4}{0.85} \rightarrow m_6 = 3.57 \\
m_7 &= \frac{\lambda_7 \bar{X}_7}{0.85} \rightarrow m_7 = \frac{3.192 \cdot 5}{0.85} \rightarrow m_7 = 18.77
\end{aligned}
\tag{4}$$

Como no se tratan de valores enteros y éstos deben de ser los valores mínimos, el número mínimo de operadores ha de ser:

Servicio	Operadores
Llamadas por Teléfono	5
Peticiones por Internet	4
Peticiones por FAX	4
Consulta Facturas	36
Nuevos Clientes	14
Reclamaciones	4
Servicio Técnico	19

Cuadro 8: Numero de operadores mínimos para lograr una tasa de utilización inferior al 85 %

5.3. Cálculo de la tasa de uso de cada servidor

Como ya se ha indicado anteriormente, la tasa de uso de cada servidor la obtenemos mediante la fórmula:

$$p = \frac{\lambda_n}{m\mu_n} \tag{5}$$

Por tanto, insertamos el número de operarios necesarios calculados y obtenemos la tasa de uso de cada servidor:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \frac{\lambda_1}{m_1\mu_1} = \frac{15}{5 \times 4} = 0,75 \\
 p_2 &= \frac{\lambda_2}{m_2\mu_2} = \frac{20}{4 \times 6} = 0,8 \\
 p_3 &= \frac{\lambda_3}{m_3\mu_3} = \frac{3}{4 \times 1} = 0,75 \\
 p_4 &= \frac{\lambda_4}{m_4\mu_4} = \frac{30,476}{36 \times 1} = 0,8465 \\
 p_5 &= \frac{\lambda_5}{m_5\mu_5} = \frac{3,8}{14 \times 0,33} = 0,8225 \\
 p_6 &= \frac{\lambda_6}{m_6\mu_6} = \frac{0,76}{4 \times 0,25} = 0,75 \\
 p_7 &= \frac{\lambda_7}{m_7\mu_7} = \frac{3,192}{19 \times 0,2} = 0,84
 \end{aligned}$$

(6)

Los resultados los agrupamos en la siguiente tabla:

Servicio	Tasa de uso
Llamadas por Teléfono	75 %
Peticiones por Internet	80 %
Peticiones por FAX	75 %
Consulta Facturas	84,65 %
Nuevos Clientes	82,25 %
Reclamaciones	75 %
Servicio Técnico	84 %

Cuadro 9: Tasa de uso de cada servidor

5.4. Cálculo del tiempo medio de espera en cada servidor

El tiempo medio de espera se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\bar{R}_i = \frac{1}{m_i\mu_i - I_i} \quad (7)$$

Siendo i el servidor.

Sustituyendo en la formula obtenemos los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
\bar{R}_1 &= \frac{1}{m_1\mu_1 - I_1} = \frac{1}{5 \times 4 - 15} = 0,2 \\
\bar{R}_2 &= \frac{1}{m_2\mu_2 - I_2} = \frac{1}{4 \times 6 - 20} = 0,25 \\
\bar{R}_3 &= \frac{1}{m_3\mu_3 - I_3} = \frac{1}{4 \times 1 - 3} = 1 \\
\bar{R}_4 &= \frac{1}{m_4\mu_4 - I_4} = \frac{1}{36 \times 1 - 30,48} = 0,18 \\
\bar{R}_5 &= \frac{1}{m_5\mu_5 - I_5} = \frac{1}{14 \times 0,33 - 3,8} = 0,82 \\
\bar{R}_6 &= \frac{1}{m_6\mu_6 - I_6} = \frac{1}{4 \times 0,25 - 0,76} = 4,17 \\
\bar{R}_7 &= \frac{1}{m_7\mu_7 - I_7} = \frac{1}{18 \times 0,2 - 3,04} = 1,79
\end{aligned}$$

(8)

Los resultados los agrupamos en la siguiente tabla:

Servicio	Tiempo medio de espera en cada servidor(m)
Llamadas por Teléfono	0,2
Peticiones por Internet	0,1
Peticiones por FAX	1
Consulta Facturas	0,18
Nuevos Clientes	0,82
Reclamaciones	4,17
Servicio Técnico	1,79

Cuadro 10: Tiempo medio de espera en cada servidor

5.5. Cálculo del tiempo medio de espera para cada tipo de trabajo

El tiempo medio de respuesta para cada tipo de trabajo se calcula multiplicando el tiempo medio de espera de cada servidor por la probabilidad de que la solicitud pase por dicho servidor.

Es decir:

$$\begin{aligned}
\bar{R}' &= \bar{R}_1 + 0,8\bar{R}_4 + 0,1\bar{R}_5 + 0,02\bar{R}_6 + 0,08\bar{R}_7 + 0,02 \times 0,1\bar{R}_4 + 0,02 \times 0,2\bar{R}_7 = 0,66 \\
\bar{R}'' &= \bar{R}_2 + 0,8\bar{R}_4 + 0,1\bar{R}_5 + 0,02\bar{R}_6 + 0,08\bar{R}_7 + 0,02 \times 0,1\bar{R}_4 + 0,02 \times 0,2\bar{R}_7 = 0,71 \\
\bar{R}''' &= \bar{R}_3 + 0,8\bar{R}_4 + 0,1\bar{R}_5 + 0,02\bar{R}_6 + 0,08\bar{R}_7 + 0,02 \times 0,1\bar{R}_4 + 0,02 \times 0,2\bar{R}_7 = 1,46
\end{aligned}$$

(9)

5.6. Cálculo del tiempo medio de espera total

El tiempo medio de respuesta total se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\overline{R}_T = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \times \overline{R}' + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \times \overline{R}'' + \frac{\lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \times \overline{R}''' \quad (10)$$

Sustituyendo obtenemos el siguiente resultado:

$$\overline{R}_T = \frac{15}{15 + 20 + 3} \times 0,66 + \frac{20}{15 + 20 + 3} \times 0,56 + \frac{3}{15 + 20 + 3} \times 1,46 = 0,67 \quad (11)$$

6. ANEXO 2: Resultados simulación

La simulación realizada en el software de INCONTROL *Enterprise Dynamics* se ha realizado sobre todo el sistema, durante 24 horas y con 150 réplicas. A continuación se adjuntan los resultados obtenidos:

Observation period: 12960000
 Warmup period: 0
 Number of observations: 150
 Simulation method: Separate runs
 Description:

Cola fact

	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Tiempo en cola	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01

cola fax

	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Tiempo en cola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

cola internet

	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Tiempo en cola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cola nu.clien

	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Tiempo en cola	11.51	2.16	11.16	11.86	7.72	19.07

Cola Reclam

	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Tiempo en cola	67.93	18.62	64.92	70.93	31.44	135.31

Cola S. T.

	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Tiempo en cola	17.16	4.80	16.39	17.94	8.04	35.71

Cola tlfm

	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Tiempo en cola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 2: Resultados de la simulación 1

Facturas		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
op. trabajando		30.46	0.07	30.45	30.47	30.29	30.65
Nuevos		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
op. trabajando		11.38	0.15	11.36	11.41	11.08	11.82
Procesos		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
op. trabajando		3.00	0.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Programas		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
op. trabajando		3.33	0.00	3.33	3.33	3.33	3.33
Reclamaciones		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
op. trabajando		3.04	0.09	3.02	3.05	2.83	3.32

Figura 3: Resultados de la simulación 2

S. Técnico		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
op. trabajando		15.91	0.24	15.87	15.95	15.25	16.43
Salida Facturas		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Nº Llegadas		43844.23	104.23	43827.41	43861.04	43595.00	44117.00
Salida Nuevos		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Nº Llegadas		5457.48	70.55	5446.10	5468.86	5313.00	5666.00
Salida Reclamaciones		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Nº Llegadas		764.76	24.42	760.82	768.70	703.00	833.00
Salida S. Técnico		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Nº Llegadas		4574.86	69.27	4563.68	4586.04	4385.00	4725.00
Teleoperadores		<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
op. trabajando		3.75	0.00	3.75	3.75	3.75	3.75

Figura 4: Resultados de la simulación 3

Por tanto, podemos obtener directamente el tiempo medio de espera en cada cola, así como el tráfico pasa por cada servidor. Para calcular la saturación del servidor basta con obtener el cociente entre el número medio de servidores activos obtenidos en la simulación (X_i) y el número de operarios totales

para cada servidor i ($op.s_i$):

$$\begin{aligned}
p_{1simulado} &= \frac{X_1}{op.s_1} = \frac{3,75}{5} = 0,75 \\
p_{2simulado} &= \frac{X_2}{op.s_2} = \frac{3,33}{4} = 0,832 \\
p_{3simulado} &= \frac{X_3}{op.s_3} = \frac{3}{4} = 0,75 \\
p_{4simulado} &= \frac{X_4}{op.s_4} = \frac{30,46}{36} = 0,846 \\
p_{5simulado} &= \frac{X_5}{op.s_5} = \frac{11,38}{14} = 0,813 \\
p_{6simulado} &= \frac{X_6}{op.s_6} = \frac{3,04}{4} = 0,76 \\
p_{7simulado} &= \frac{X_7}{op.s_7} = \frac{15,91}{19} = 0,837
\end{aligned}
\tag{12}$$

Además podemos saber el tiempo medio de espera para cada tipo de petición ya que conocemos el tiempo medio de espera en cada servidor, así como en su cola:

$$\begin{aligned}
\overline{R}_{tlf n} &= cola_tlf n + \overline{X}_1 + 0.8(cola_facturas + \overline{X}_4) + \\
&0.1(cola_nuevos + \overline{X}_5) + 0.02(cola_reclamaciones + \overline{X}_6) + 0.08(cola_s.tecnico + \overline{X}_7) \\
&+ 0.02 * 0.1(cola_facturas + \overline{X}_4) + 0.02 * 0.2(cola_s.tecnico + \overline{X}_7) = \\
&0 + 15 + 0.8(0.01 + 60) + 0.1(11.51 + 180) + 0.02(67.93 + 240) + 0.08(17.16 + 300) \\
&+ 0.02 * 0.1(11.51 + 180) + 0.02 * 0.2(17.16 + 300) \\
&= 115.34
\end{aligned}
\tag{13}$$

Obtener los dos restantes tiempos medios de respuesta es similar al calculado anteriormente, pero cambiando $cola_tlf n + \overline{X}_1$ por $cola_internet + \overline{X}_2$ y $cola_fax + \overline{X}_3$. respectivamente:

$$\begin{aligned}
\overline{R}_{internet} &= 110.34 \\
\overline{R}_{fax} &= 160.34
\end{aligned}
\tag{14}$$