

# Simulación a Eventos Discretos – Trabajo Práctico de Campo

✱ UTN FRRo – Cátedra Simulación – Teoría

Cindi Martin, Sebastián Vansteenkiste, Alejandro Zampatti

## 1. Sinopsis y Objetivo

El presente trabajo está enfocado a ilustrar la validez de la simulación como método para estimar el comportamiento de un sistema real. Se partió de un sistema de colas M/M/1 perteneciente a un centro de pago de impuestos y servicios, de aquí en más “Rapipago”, el cual fue relevado y modelado: se procedió a registrar los horarios de arribo, comienzo de servicio y partida (fin de servicio) alrededor de los primeros 51 clientes que arribasen a partir de las 19:30hs durante 10 días<sup>1</sup>, conjunto de datos que se utilizó como una sola muestra de 509 observaciones para simplificar el análisis de los mismos; se calcularon variables relevantes (tiempos entre arribos, tiempos en cola, etc.) y se realizó un estudio estadístico de las mismas, el cual luego fue utilizado para realizar un modelo analítico; por último se realizaron diversas corridas de la simulación y se compararon sus resultados con los arrojados por el mencionado modelo. El análisis de los datos, cálculos estadísticos, gráficos y proceso de simulación fue realizado con un software desarrollado a medida de las necesidades de este trabajo práctico<sup>2</sup>.

Jueves 24 de Noviembre de 2011

### 1.1. Introducción

El uso de la simulación de sistemas se ha extendido rápidamente desde que se inventó el término, al grado que las personas que trabajan en muchas disciplinas distintas requieren urgentemente comprender la técnica. Al mismo tiempo, se cuenta con una mayor diversidad de lenguajes de programación, tanto de propósito general como específicos para simulación.

Para el objeto de este trabajo nos avocaremos a la simulación de sistemas comprendidos por una cola de

entrada y un servidor, en el cual llegan paulatinamente clientes y son atendidos durante un tiempo de servicio. Al variar aleatoriamente el tiempo que demoran en ser atendidos los clientes y el intervalo que transcurre entre la llegada de uno y otro, es posible que al llegar un cliente éste tenga que esperar a que otros sean atendidos, formándose así una cola.

Para modelar un sistema de estas características es necesario hallar las funciones de probabilidad que describen los patrones de llegada y los tiempos de servicios. Al sólo contar con muestras limitadas no es seguro realizar afirmaciones sobre el comportamiento del sistema, por lo cual nos limitamos a estimar sus parámetros y utilizarlos como base para simularlo. Al simular un gran número de servicios se espera encontrar resultados fieles a la realidad.

## 2. Análisis de las Variables

A continuación se examinarán las variables del sistema, prestando especial atención a los Tiempos entre Arribos y de Servicio.

### 2.1. Análisis Gráfico

Con la intención de aportar mayor claridad estadística acerca de los datos, los siguientes gráficos se han realizado eligiendo cantidades de clases que permitan ver claramente la forma general de las distribuciones de los datos, así como otros gráficos que resultarán útiles a la hora de comparar estos datos relevados con los resultados de la Simulación al final de este trabajo:

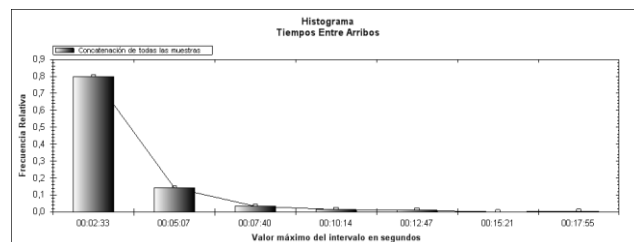


Fig. 2.1.1.1 – Histograma de Tiempos entre Arribos con 7 intervalos

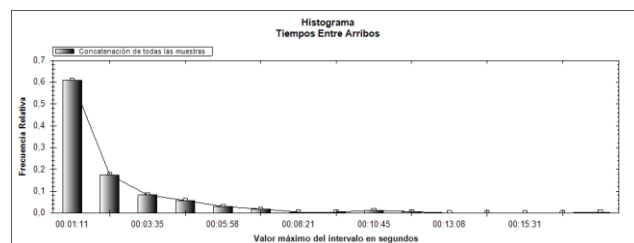
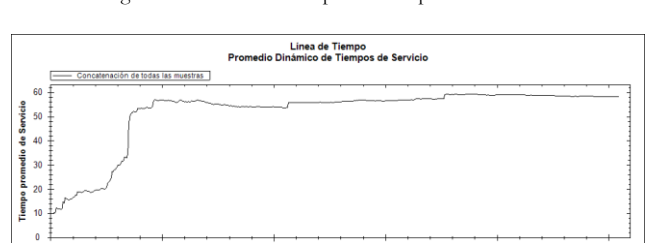
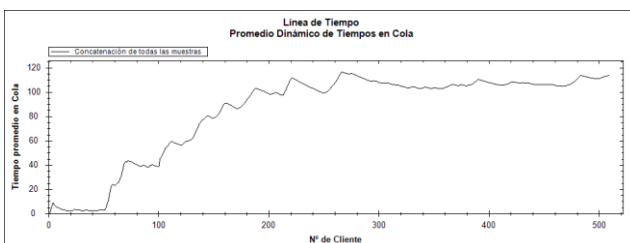
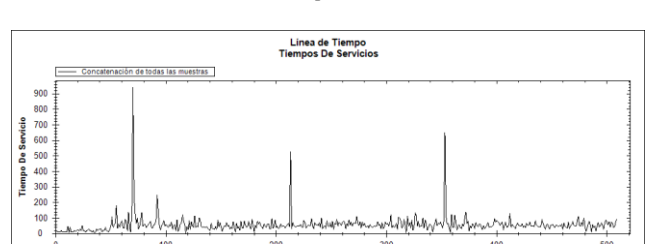
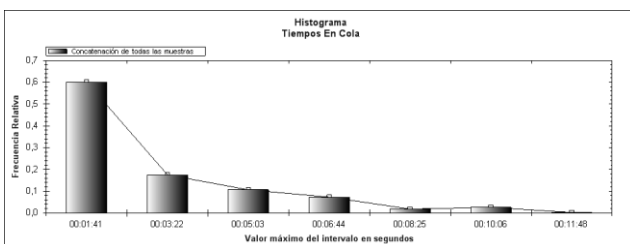
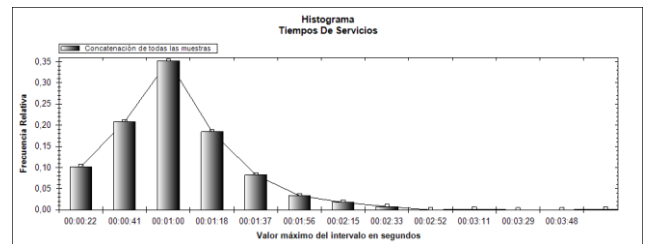
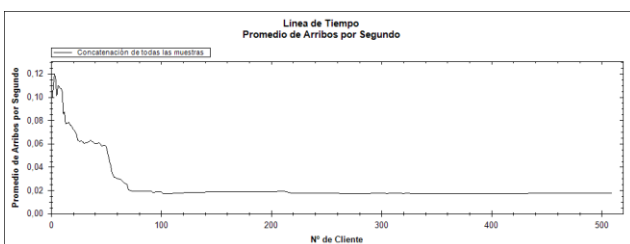
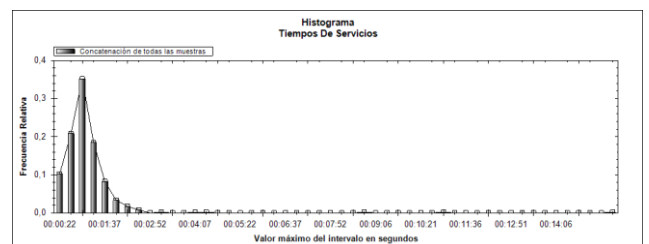
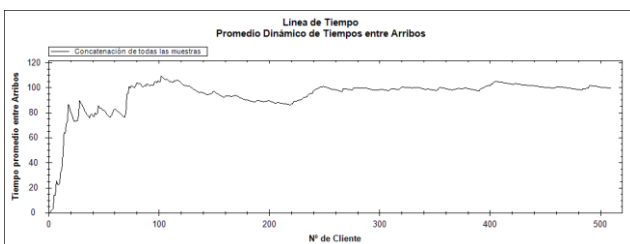
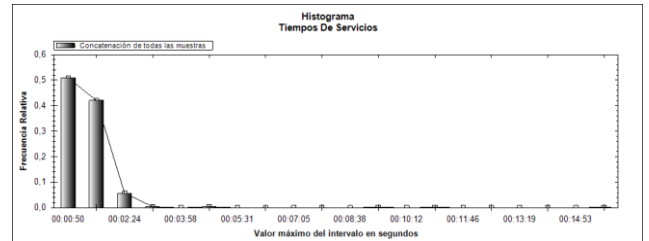
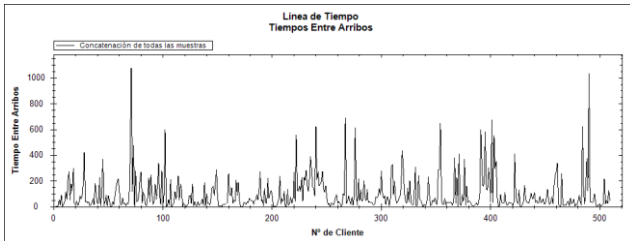
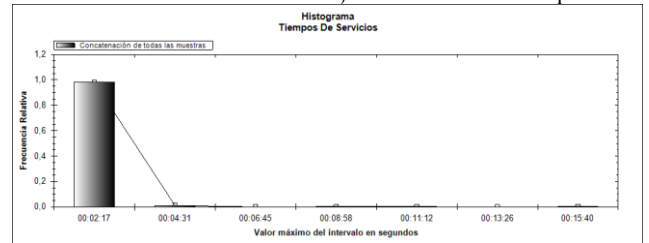
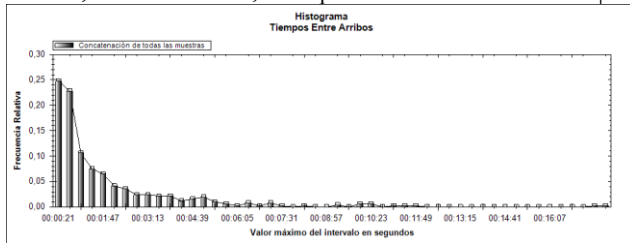


Fig. 2.1.1.2 – Histograma de Tiempos entre Arribos con 15 intervalos

<sup>1</sup> Los datos relevados están disponibles en el Anexo I.

<sup>2</sup> Capturas de pantalla y explicación del funcionamiento del Software están disponibles en el Anexo II. El Software propiamente dicho estará disponible públicamente próximamente en [srvans.com.ar](http://srvans.com.ar).



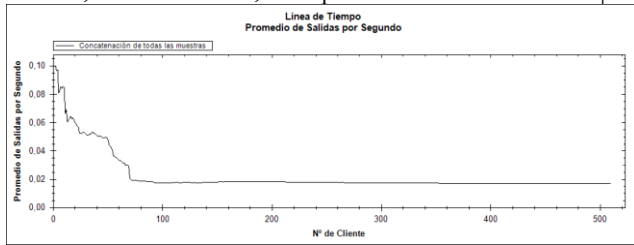


Fig. 2.1.3.7 – Serie de tiempo de Promedio de Salidas por Segundo

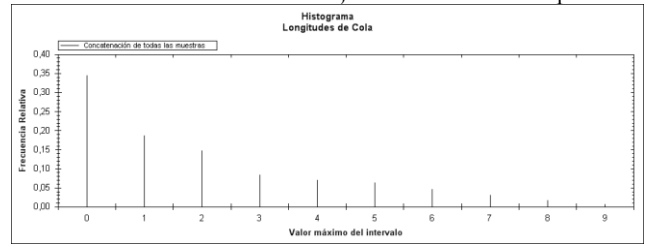


Fig. 2.1.6.1 – Histograma de Clientes en Cola

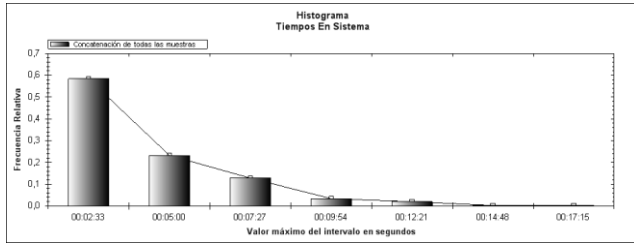


Fig. 2.1.4.1 – Histograma de Tiempos Totales en Sistema con 7 intervalos

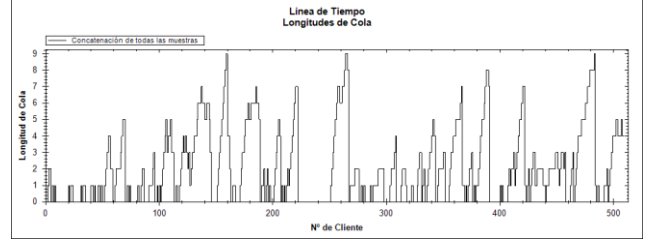


Fig. 2.1.6.2 – Serie de tiempo de Clientes en Cola

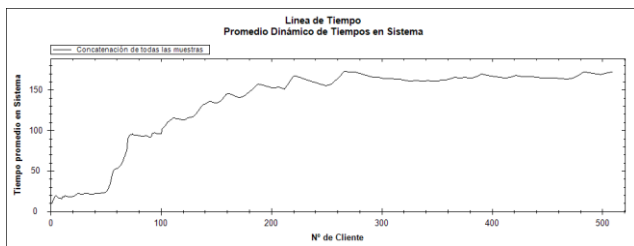


Fig. 2.1.4.2 – Serie de tiempo de Tiempos en Sistema Promedio

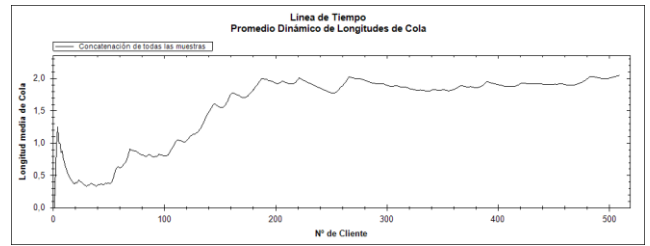


Fig. 2.1.6.3 – Serie de tiempo de Clientes en Cola Promedio

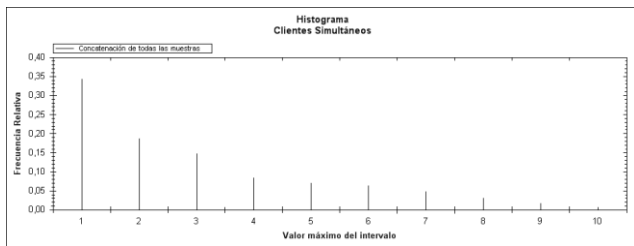


Fig. 2.1.5.1 – Histograma de Clientes Simultáneos en Sistema

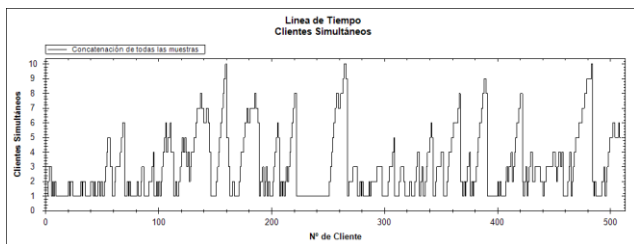


Fig. 2.1.5.2 – Serie de tiempo de Clientes Simultáneos

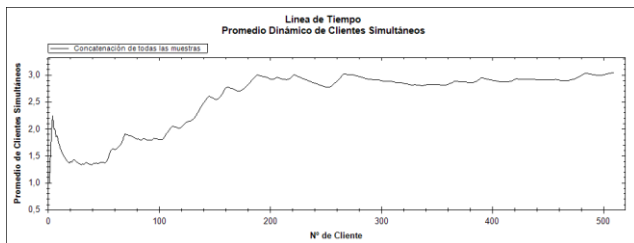


Fig. 2.1.5.3 – Serie de tiempo de Clientes Simultáneos Promedio

Al examinar en detalle la gráfica de los Tiempos entre Arribos parece consistente la suposición de que se está observando una distribución Exponencial, mientras que al analizar los Tiempos de Servicios primero no puede dilucidarse una distribución clara de los datos y, si bien inicialmente se sospecha una exponencial, al indagar lo suficiente parecen haber evidencias de que se trata de una distribución Normal (aunque una muy sesgada a la derecha). Podemos observar además que los promedios de todas las variables comienzan a estabilizarse a partir de las 100 observaciones, a excepción de los de los Tiempos en Cola, Tiempos en Sistema, Clientes Simultáneos y Clientes en Cola, que parecen estabilizarse no antes de las 200 observaciones.

## 2.2. Análisis Estadístico

Los histogramas nos han permitido observar las distribuciones según las que parecen comportarse las variables de acuerdo a las muestras obtenidas, a continuación se presenta un breve análisis estadístico de las mismas para aportar claridad:

Variable	Moda (seg)	Promedio (seg)	Varianza (seg <sup>2</sup> )	Desvío estándar (seg)
Tiempo entre Arribos	76,786	99,690	17917,525	133,856
Tiempo en Cola	50,5	113,945	19802,143	140,72
Tiempo de Servicio	50,5	58,432	3481,958	59,008
Tiempo total en Sistema	76,5	172,377	23203,763	152,328
Clientes Simultáneos en Sistema	1	3,047	5,065	2,25
Clientes en Cola	0	2,047	5,065	2,25

Tabla 2.2.1 – Análisis estadístico inicial

## 2.3. Test de Bondad de Ajuste

A continuación se realizan las Pruebas de Bondad de Ajuste (K. Pearson –  $\chi^2$ ) a las Variables de Tiempos entre Arribos y Tiempos de Servicios para concluir si podemos estimar fácilmente sus comportamientos.

### 2.3.1. Tiempo entre Arribos

Para probar si los datos de los intervalos de tiempos entre arribos de los clientes se ajustan a una distribución Exponencial desarrollaremos el Test de  $\chi^2$ , usando un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , separando los datos en 7 intervalos como se ve en la figura 2.1.1.1. Donde el número de grados de libertad de la distribución  $\chi^2$  será  $G = k - 1 - r$ , con  $r$  = “número de parámetros estimados”. Tomaremos:  $G = 7 - 1 - 1 = 5$

Al desconocer la media poblacional, estimaremos con el promedio muestral:  $\hat{\mu} \cong 99,7$  luego decimos que  $\mu = 1/\lambda$  entonces  $\hat{\lambda} \cong 0,01$ .

$$F(x) = P(X \leq x)f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \end{cases}$$

$H_0$ : Tiempo entre Arribos  $\sim \text{Exp}(\hat{\lambda} \cong 0,01)$

$H_a$ : Tiempo entre Arribos no se comporta como dicha exponencial

Clase	Frecuencia observada $O_i$	Frecuencia esperada $E_i$	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
[0; 153)	408	398	0,251
[153; 307)	72	87	2,942
[307; 460)	17	18	0,055
[460; 614)	7	4	2,25
[614; $+\infty$ )	5	2	4,5
		Total:	9,998

Tabla 2.3.1.1 – Test de  $\chi^2$  para el Tiempo entre Arribos Exponencial

$$\chi_0^2 = 9,998 < \chi_{0,05;5}^2 = 11,07 \rightarrow \text{No rechazamos } H_0.$$

### 2.3.2. Tiempo de Servicio

Se realiza ahora entonces el test de bondad de ajuste para analizar si los tiempos de servicio se ajustan a una distribución Normal<sup>3</sup>, estimando la media y el desvío estándar poblacional a partir del promedio y desvío estándar muestrales, tomando 8 intervalos del tamaño mostrado en la figura 2.1.3.4, con un nivel de significancia  $\alpha = 0.01$ , para el Test de  $\chi^2$ , con  $G = 8 - 1 - 1 = 6$  grados de libertad:

$$\phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du = P(Z \leq z) =$$

$$= \left( \frac{X - \mu}{\sigma} \leq \frac{x - \mu}{\sigma} \right)$$

$H_0$ : Tiempo de Servicio  $\sim N(\hat{\mu} \cong 58; \hat{\sigma} \cong 59)$

$H_a$ : Tiempo de Servicio no se comporta como dicha normal

<sup>3</sup> Otro posible candidato resulta la distribución Gamma. El Test de  $\chi^2$  para este caso se ha realizado, pero se omite por ser también insatisfactorio y por ser la Normal una Distribución más conocida.

Clase	Frecuencia observada $O_i$	Frecuencia esperada $E_i$	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
[0; 22)	52	140	55,314
[22; 41)	106	56	39,446
[41; 60)	179	52	310,173
[60; 78)	94	74	5,405
[78; 97)	42	57	3,947
[97; 116)	17	47	19,149
[116; 135)	9	35	19,314
[135; +∞)	10	48	30,083
		Total:	482,831

Tabla 2.3.2.1 – Test de  $\chi^2$  para el Tiempo de Servicio Normal

$\chi_0^2 = 482,831 \gg \chi_{0,01;6}^2 = 16,812 \rightarrow$  Rechazamos  $H_0$ , sin dudas.

Si bien se lo omite por simplicidad, se ha repetido esta misma prueba variando los tamaños y la cantidad de intervalos, en ningún caso la distribución se ajusta, debido a que presenta un pico considerable (Moda = 50,5) no contemplado en la desviación estándar muestral encontrada, la cual se ve afectada por la gran dispersión de alguno de los datos. A efectos de no complicar la programación del simulador con la generación de números aleatorios pertenecientes a una distribución empírica, probaremos a continuación que la variable Tiempos de Servicio puede aproximarse a una Distribución Exponencial, para lo cual desarrollaremos el Test de  $\chi^2$ , usando un nivel de significancia  $\alpha = 0.001$ , separando los datos en 3 intervalos del tamaño de la figura 2.1.3.2, con lo que el número de grados de libertad de la distribución  $\chi^2$  será  $G = k - 1 - r = 3 - 1 - 1 = 1$ .

Al desconocer la media poblacional, estimaremos con el promedio muestral:  $\hat{\mu} \cong 58$  luego decimos que  $\mu = 1/\lambda$  entonces  $\hat{\lambda} \cong 0,02$ .

$$F(x) = P(X \leq x)f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \end{cases}$$

$H_0$ : Tiempo entre Arribos  $\sim \text{Exp}(\hat{\lambda} \cong 0,02)$

$H_a$ : Tiempo entre Arribos no se comporta como dicha exponencial

Clase	Frecuencia observada $O_i$	Frecuencia esperada $E_i$	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
[0; 66)	365	373	0,172
[66; 128)	117	97	4,124
[128; +∞)	27	39	3,692
		Total:	7,988

Tabla 2.3.2.2 – Test de  $\chi^2$  para el Tiempo de Servicio Exponencial

$\chi_0^2 = 7,988 < \chi_{0,001;1}^2 = 10,827 \rightarrow$  No rechazamos  $H_0$ , aunque sólo para un grado de significancia de 0,001.

### 3. Modelo

El Sistema de Colas del Rapipago cuenta con una Cola de clientes sin restricción de tamaño y un Servidor. Los Clientes llegan al sistema con una separación (Tiempo entre Arribos) que se comporta como una Distribución Exponencial con parámetro  $\lambda$  y son atendidos de a 1 por vez por una duración (Tiempo de Servicio) que se comporta como una Distribución Exponencial con parámetro  $\mu$ . Al llegar al Sistema todo Cliente se coloca al final de la cola, de estar ésta vacía pasa inmediatamente a ser atendido, de lo contrario esperará (Tiempo en Cola) hasta que sean atendidos todos los clientes que hubieran llegado antes de él y luego será atendido (régimen de cola FIFO - primero que entra, primero que sale).

#### 3.1. Esquema Gráfico

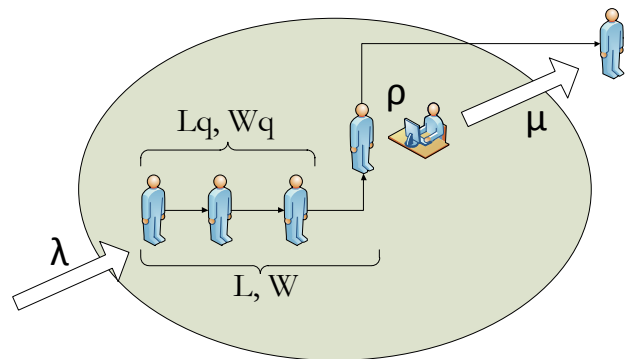


Fig. 3.1.1 – Representación gráfica del modelo

#### 3.2. Modelo Analítico

Procedemos ahora a calcular distintos estadísticos sobre las variables del sistema, que podríamos llamar “medidas de rendimiento” analíticamente a partir de los datos relevados y el modelo realizado, por simplicidad y mayor exactitud los cálculos se han realizado vía software y se omiten en esta sección:

Par.	Descripción	Unidad
$\lambda$	Tasa promedio de arribos	$\left[\frac{1}{\text{segundo}}\right]$
$\mu$	Tasa promedio de salidas	$\left[\frac{1}{\text{segundo}}\right]$
$1/\lambda$	Tiempo entre Arribos promedio	$[\text{segundo}]$
$1/\mu$	Tiempo de Servicio promedio	$[\text{segundo}]$
L	Número de Clientes en Sistema promedio	$[\text{cliente}]$
$L_q$	Número de Clientes en Cola promedio	$[\text{cliente}]$
W	Tiempo en Sistema promedio	$[\text{segundo}]$
$W_q$	Tiempo en Cola promedio	$[\text{segundo}]$
$\rho$	Factor de utilización del servidor	$[\emptyset]$

Tabla 3.2.1.1 – Parámetros estadísticos y sus unidades

### 3.2.2. Cálculo de los estadísticos:

Estadístico	Análítico
$\lambda$	0,0177
$\mu$	0,0171
$1/\lambda$	99,6896
$1/\mu$	58,4322
L	3,0472
$L_q$	2,0472
W	172,3772
$W_q$	113,945
$\rho$	58,2297%

Tabla 3.2.2.1 – Parámetros Estadísticos Analíticos

## 3.3. Simulación

Todo lo realizado en este trabajo hasta ahora ha sido para llegar a esta sección final. En varias ocasiones se ha mencionado que se ha utilizado un Software desarrollado específicamente para este trabajo práctico, una vez más los resultados aquí expuestos son resultado de dicha aplicación, el funcionamiento de la misma, su lógica interna, fórmulas y tecnologías utilizadas y modo de uso se encuentra detallado en el Anexo II de este trabajo y no se contemplará de momento. A continuación se presentan los resultados de haber corrido el simulador 3 veces con semillas distintas para el Generador de Números Aleatorios, simulando 509 Clientes para cada Corrida y utilizando las distribuciones observadas en la sección 2.3 para los Tiempos entre Arribos y Tiempos de Servicios.

### 3.3.1. Análisis Gráfico

Debido a que las gráficas resultan suficientemente claras, se ha evitado agregar elementos innecesarios como el valor medio entre las muestras, etc., aunque si se han incluido ciertos gráficos con propósito meramente ilustrativo, como ser Histogramas con 50 intervalos y series de tiempo en las que realmente no

| Simulación a Eventos Discretos - Trabajo Práctico de Campo puede apreciarse lo que sucede a menos que se realice zoom en la versión digital de este documento.

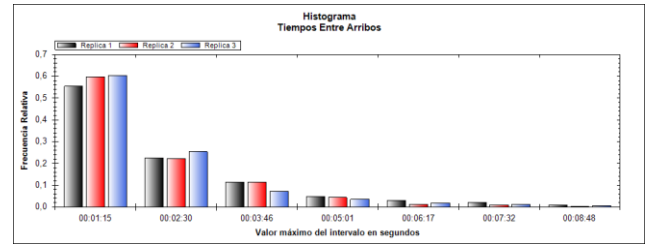


Fig. 3.3.1.1.1 – Histograma de Tiempos entre Arribos con 7 intervalos

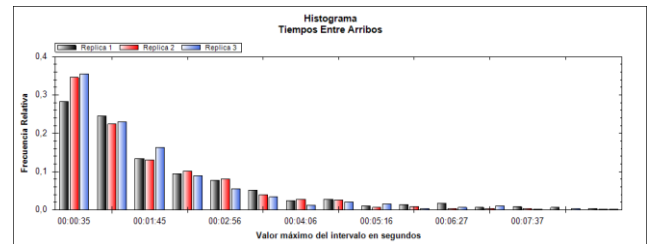


Fig. 3.3.1.1.2 – Histograma de Tiempos entre Arribos con 15 intervalos

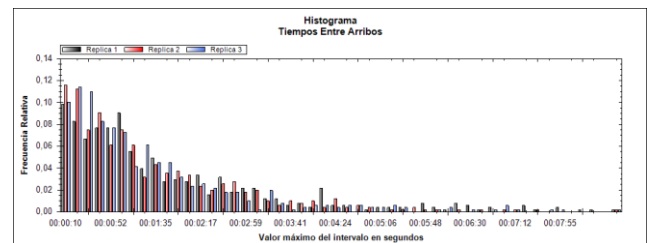


Fig. 3.3.1.1.3 – Histograma de Tiempos entre Arribos con 50 intervalos

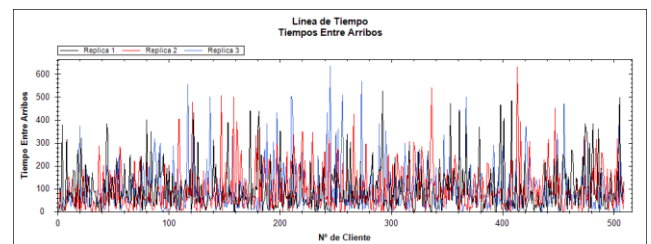


Fig. 3.3.1.1.4 – Serie de tiempo de Tiempos entre Arribos

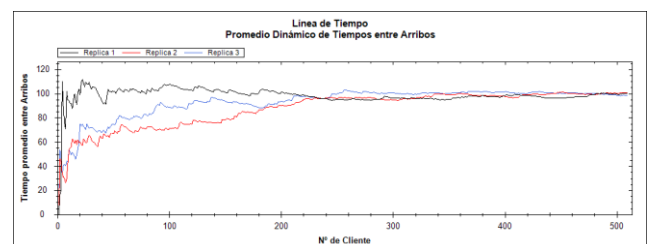


Fig. 3.3.1.1.5 – Serie de tiempo de Promedio de Tiempos entre Arribos

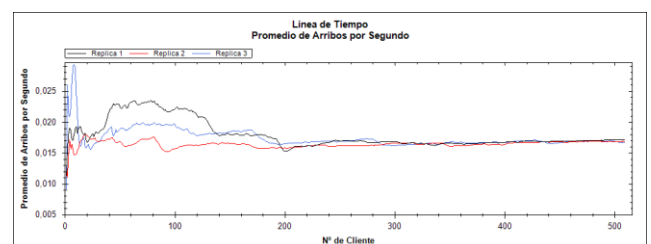


Fig. 3.3.1.1.6 – Serie de tiempo de Promedio de Arribos por Segundo



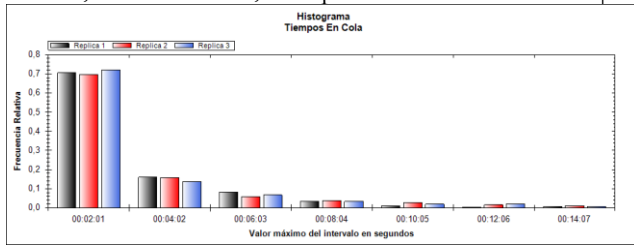


Fig. 3.3.1.2.1 – Histograma de Tiempos en Cola con 7 intervalos

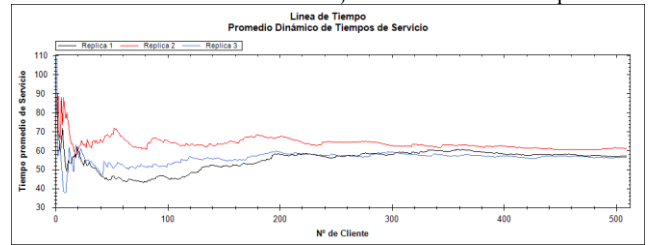


Fig. 3.3.1.3.5 – Serie de tiempo de Tiempos de Servicios Promedio

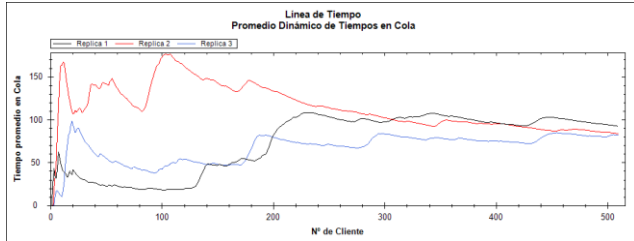


Fig. 3.3.1.2.2 – Serie de tiempo de Tiempo en Cola Promedio

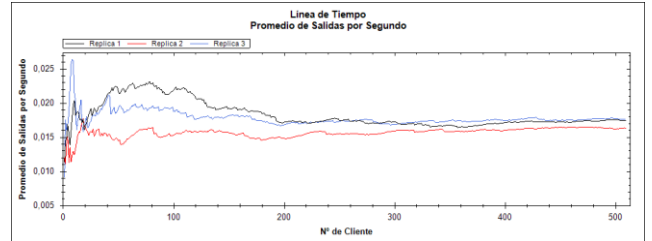


Fig. 3.3.1.3.6 – Serie de tiempo de Promedio de Salidas por Segundo

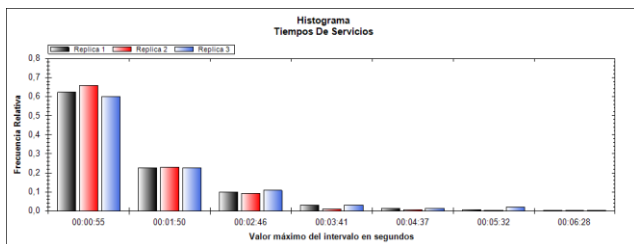


Fig. 3.3.1.3.1 – Histograma de Tiempos de Servicios con 7 intervalos

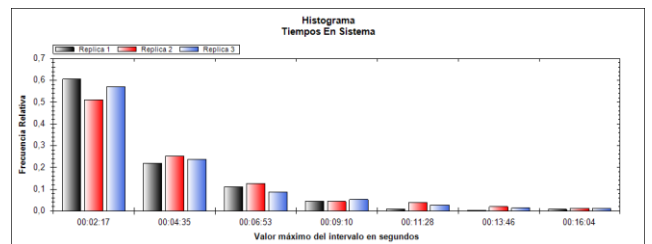


Fig. 3.3.1.4.1 – Histograma de Tiempos Totales en Sistema con 7 intervalos

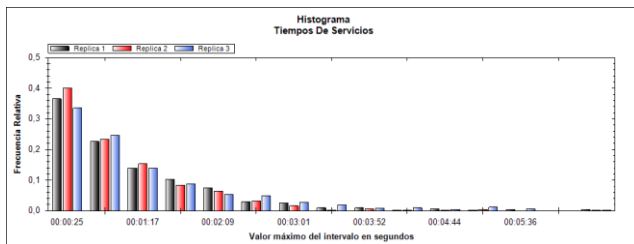


Fig. 3.3.1.3.2 – Histograma de Tiempos de Servicios con 15 intervalos

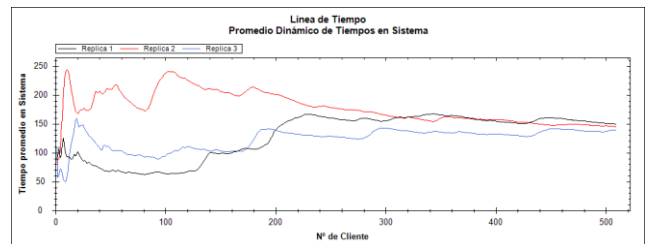


Fig. 3.3.1.4.2 – Serie de tiempo de Tiempos en Sistema Promedio

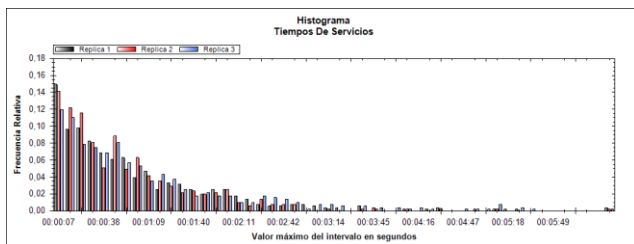


Fig. 3.3.1.3.3 – Histograma de Tiempos de Servicios con 50 intervalos

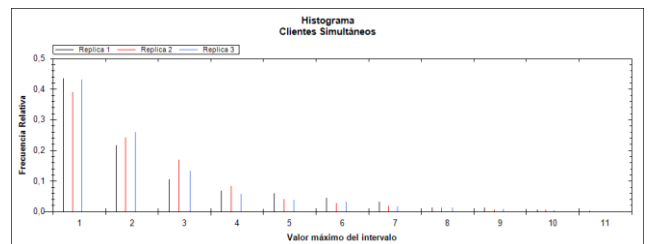


Fig. 3.3.1.5.1 – Histograma de Clientes Simultáneos en Sistema

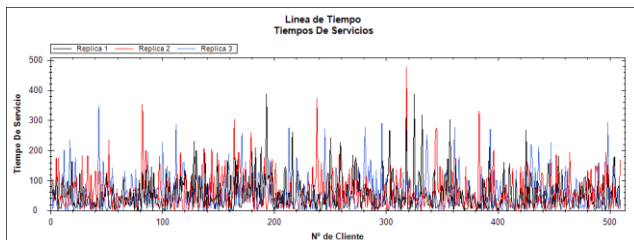


Fig. 3.3.1.3.4 – Serie de tiempo de Tiempos de Servicios

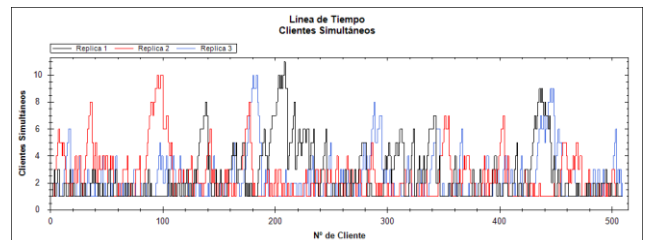


Fig. 3.3.1.5.2 – Serie de tiempo de Clientes Simultáneos

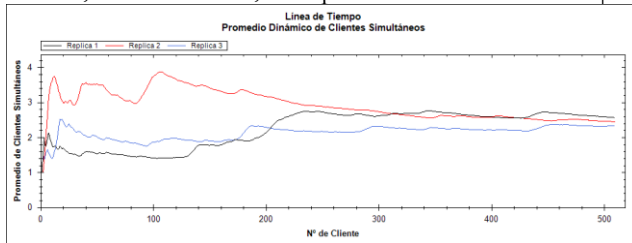


Fig. 3.3.1.5.3 – Serie de tiempo de Clientes Simultáneos Promedio

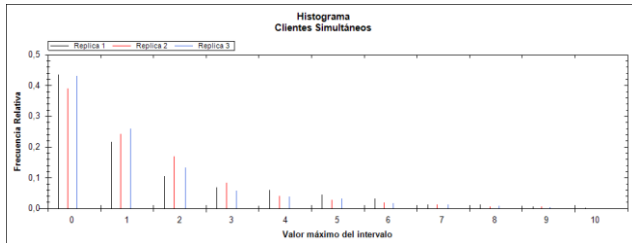


Fig. 3.3.1.6.1 – Histograma de Clientes en Cola

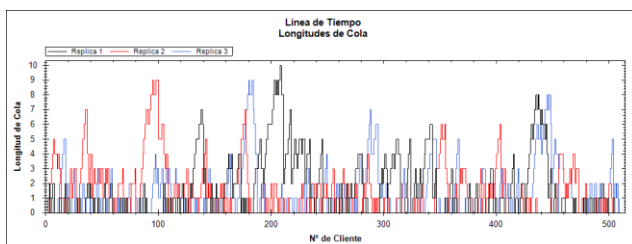


Fig. 3.3.1.6.2 – Serie de tiempo de Clientes en Cola

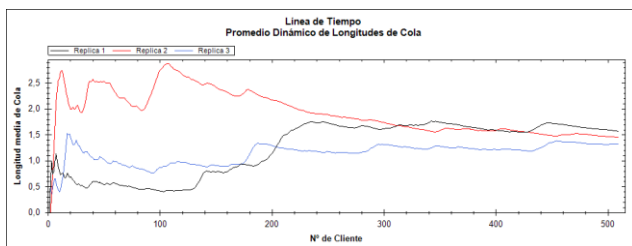


Fig. 3.3.1.6.3 – Serie de tiempo de Clientes en Cola Promedio

Podemos apreciar que los Tiempos entre Arribos y los Tiempos de Servicios se comportan en forma Exponencial indudablemente, y que los Promedios de todas las variables, para todas las réplicas, comienzan a estabilizarse alrededor de las 100 observaciones, a excepción de los de los Tiempos en Cola, Tiempos en Sistema, Clientes Simultáneos y Clientes en Cola, que parecen estabilizarse no antes de las 200 observaciones, mismo comportamiento que poseen las variables del sistema real.

### 3.3.2. Cálculo de los estadísticos y Validación

Calcularemos ahora los parámetros estadísticos, explicados en 3.2.1 para el modelo analítico, a partir de los resultados de la simulación y los compararemos con los calculados en 3.2.2:

Estadístico	Análítico	Simulado
$\lambda$	0,0177	0,0169
$\mu$	0,0171	0,0172
$1/\lambda$	99,6896	100,0747
$1/\mu$	58,4322	58,3012
L	3,0472	2,4512
Lq	2,0472	1,4512
W	172,3772	144,6745
Wq	113,945	86,3733
$\rho$	58,2297%	58,2436%

Tabla 3.3.2.1 – Comparación de Parámetros Estadísticos

Si bien un análisis más minucioso requeriría realizar Pruebas de  $\chi^2$  para comparar las variables observadas con las simuladas, a los efectos prácticos la tabla 3.3.2.1 aporta suficiente información como para darnos cuenta a simple vista de que, si bien hay pequeñas discrepancias<sup>4</sup> en L, Lq, W y Wq (Número de Clientes en Sistema promedio, Número de Clientes en Cola, promedio, Tiempo en Sistema promedio y Tiempo en Cola promedio respectivamente), el Simulador se aproxima efectivamente al sistema real cuando se consideran simultáneamente 3 corridas distintas del mismo<sup>5</sup>.

### 3.3.3. Experimentos

Una vez validados los resultados del simulador, puede utilizarse esta poderosa herramienta para analizar casos hipotéticos que difieran considerablemente del ya calculado y observar como probablemente se comportarían las variables. Se incluye a modo de ejemplo el experimento: “¿Cómo se comportaría la Cola del sistema si en lugar de la distribución Exponencial encontrada en 2.3.2 los Tiempos de Servicio se comportaran según  $\sim N(\hat{\mu} \cong 58; \hat{\sigma} \cong 59)$ ?”. Adicionalmente se incluirán los gráficos de los Tiempos de Servicios para contrastar con el caso real y el Exponencial simulado, así como se calcularán también todos los estadísticos.

#### Análisis Gráfico

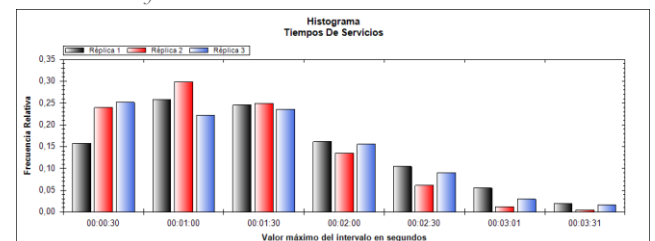


Fig. 3.3.3.1.1 – Histograma de Tiempos de Servicios con 7 intervalos

<sup>4</sup> Estas diferencias probablemente sean causadas debido a que no se ha eliminado correctamente el “sesgo inicial” al calcular estos parámetros, ver sección 15:5 de [1].

<sup>5</sup> No analizaremos las variaciones que surgen en los resultados al variar la cantidad de réplicas observadas simultáneamente o sus respectivos tamaños.



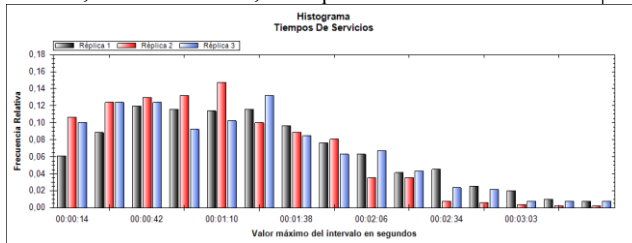


Fig. 3.3.3.1.2 – Histograma de Tiempos de Servicios con 15 intervalos

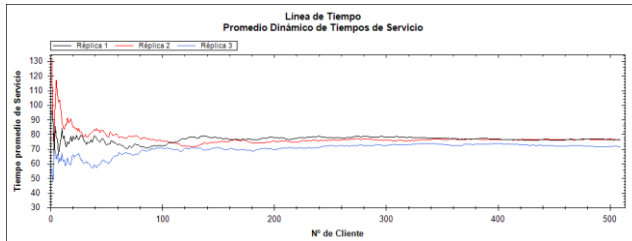


Fig. 3.3.3.1.3 – Serie de tiempo de Tiempos de Servicios Promedio

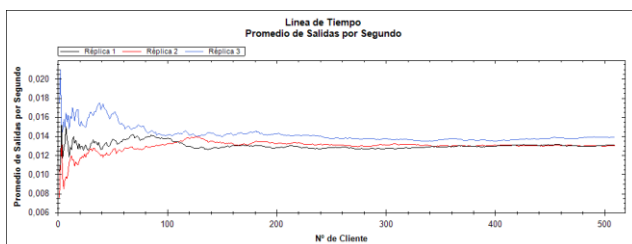


Fig. 3.3.3.1.4 – Serie de tiempo de Promedio de Salidas por Segundo

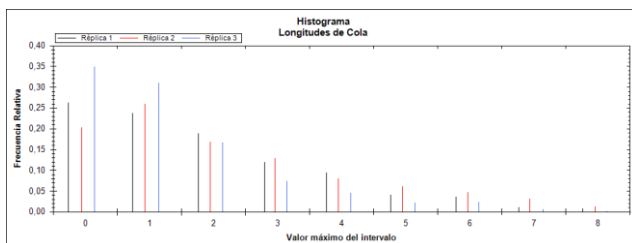


Fig. 3.3.3.2.1 – Histograma de Clientes en Cola

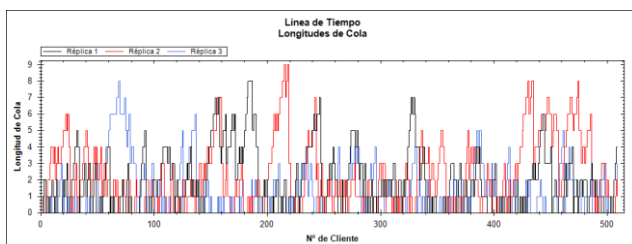


Fig. 3.3.3.2.2 – Serie de tiempo de Clientes en Cola

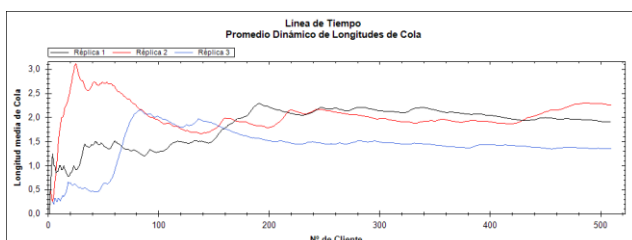


Fig. 3.3.3.2.3 – Serie de tiempo de Clientes en Cola Promedio

En lo que respecta a la distribución de los Tiempos de Servicios, podemos ver fácilmente la diferencia con los datos reales y porqué fue un error la hipótesis de que aquellos se comportaran con una distribución similar. Al observar la Cola, podemos ver que tanto su

#### Cálculos Estadísticos

Estadístico	Analítico	Simulado	Experimento
$\lambda$	0,0177	0,0169	0,0146
$\mu$	0,0171	0,0172	0,0133
$1/\lambda$	99,6896	100,0747	104,7123
$1/\mu$	58,4322	58,3012	74,9619
$L$	3,0472	2,4512	2,8441
$L_q$	2,0472	1,4512	1,8441
$W$	172,3772	144,6745	195,1754
$W_q$	113,945	86,3733	120,2135
$\rho$	58,2297%	58,2436%	71,5351%

Tabla 3.3.3.3 – Comparación de Parámetros Estadísticos

Podemos ver que los promedios de Tiempos de Servicios y Tiempos en Cola (y por ende Tiempos Totales en Sistema) resultan algo mayores tanto a los datos reales como a la simulación anterior, la Longitud de Cola Promedio (y Promedio de Clientes Simultáneos en Sistema) resultan mayores a la simulación anterior, pero siguen siendo inferiores a los datos reales<sup>4</sup>, la Tasa de Arribos por Segundo es menor debido a un Tiempo entre Arribos Promedio algo mayor, la Tasa de Salidas por Segundo resulta lógicamente menor y finalmente la Utilización ha crecido en un 12%.

El experimento concluye entonces que, si bien aumentan la Utilización, los Tiempos en Cola y los Tiempos de Servicios, el comportamiento de la Cola no cambia considerablemente si estos últimos se comportaran según una Distribución  $\sim N(\hat{\mu} \cong 58; \hat{\sigma} \cong 59)$ .

## 4. Conclusión

Tras haber recabado información sobre un Sistema de Colas real, analizado el comportamiento aparente de sus Variables utilizando técnicas Estadísticas, realizado un Modelo del sistema, informatizado el mismo programando un Software de Simulación, verificados los Resultados obtenidos a partir del mismo y realizado Experimentos variando el comportamiento del Sistema simulado, finalmente podemos afirmar que el presente trabajo ha tenido éxito en ilustrar cómo pueden aplicarse las técnicas de simulación a eventos discretos para emitir resultados acerca del comportamiento de un sistema real tal como es y realizar experimentos acerca del impacto que tendría realizar modificaciones hipotéticas en el mismo.

Cabe aclarar, cuanto menos como una nota al final dedicada a aquellos que pretendan utilizar este trabajo como molde o inspiración para realizar otro Reporte similar, que la finalización en tiempo y forma de este documento ha sido un desafío interesante. No menos de un tercio del esfuerzo necesario para realizar el mismo fue dedicado a la recopilación de ejemplos y guías para el desarrollo de Informes Científicos, así como la confección de este documento, la redacción íntegra del texto escrito en él, el formateado del mismo y la corrección de errores, siendo los otros dos tercios el Relevamiento de datos del sistema real (alrededor de 1:20hs por día durante 10 días) y la -suficientemente correcta- confección del Software utilizado así como su uso para el cálculo de los estadísticos y la realización de las gráficas. Puede observarse que se ha dejado espacio en blanco intencional para evitar que ciertas Tablas queden entre cortadas, una solución más “profesional” hubiera sido reordenarlas para evitar justamente espacios en blanco innecesario, pero en pos de optimizar facilidad de lectura lineal y en visto que la última página del documento contaba con espacio de sobra, se decidió tomar esta libertad en discrepancia con el formato recomendado estricto.

## 5. Bibliografía<sup>6</sup>

[1] “Simulación de Sistemas” de Geoffrey Gordon, Editorial Diana: (1: 7; 2: 1-3; 6: 1-3; 7: 1-4, 8-11; 8: 1-3; 10: 1-3; 15: 1-7).

[2] “Apuntes de Probabilidad y Estadística” y “Tablas Estadísticas” de G. Carnevali, E. Franchelli, G. Gervasoni, UTN FRRO.

[3] “Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas” de Paul L. Meyer, Edison-Wesley Iberoamericana: (15: 1-4)

[4] “Apuntes de Cátedras de Simulación” de L. Lara, H. Tomé, UTN FRRO.

[5] “Directrices para la producción de informes científicos y técnicos: cómo escribir y distribuir literatura gris”, Grey Literature International Steering Committee.

[5] [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com): (Ejemplos de publicaciones científicas)

[7] [journals.elsevier.com](https://journals.elsevier.com): (Ejemplos de publicaciones científicas)

---

<sup>6</sup> Las secciones citadas se leen “a: b-c, d-e”; “Capítulo a, secciones b hasta c inclusive, d hasta e inclusive”.