



SIMULACIÓN DE SISTEMAS  
GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

---

# PRÁCTICA 3

## MODELOS DE SIMULACIÓN DINÁMICOS Y DISCRETOS

---

**Autor**

Adrián Acosa Sánchez

**Rama**

Computación y Sistemas Inteligentes



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE  
TELECOMUNICACIÓN

CURSO 2022-2023

# Índice general

<b>1. Mi Segundo Modelo de Simulación Discreto</b>	<b>2</b>
1.1. Ejecución del modelo . . . . .	3
1.1.1. Incremento fijo del tiempo . . . . .	4
1.1.2. Incremento variable del tiempo . . . . .	6
<b>2. Mi Tercer Modelo de Simulación</b>	<b>9</b>
2.1. Probando el modelo . . . . .	10
2.2. Diferentes generadores de datos . . . . .	11
2.3. Calidad frente a cantidad . . . . .	12
2.4. Múltiples operarios . . . . .	13
<b>3. Análisis de Salidas y Experimentación</b>	<b>15</b>
3.1. ¿Cuánto hay que simular? . . . . .	16
3.2. Intervalos de confianza . . . . .	22
3.3. Comparación de más de dos sistemas . . . . .	22

## Capítulo 1

# Mi Segundo Modelo de Simulación Discreto

## 1.1. Ejecución del modelo

Antes de empezar, ejecutaré tanto el modelo con incremento fijo como con incremento variable con los mismos datos. Usaré un número fijo de clientes a atender (el que se propone en el guión) y las siguientes medidas de tiempo para las distintas ejecuciones del mismo:

- $tlleg = 0.15$ ,  $tserv = 0.1$  (horas)
- $tlleg = 4.5$ ,  $tserv = 3$  (medias horas)
- $tlleg = 6.75$ ,  $tserv = 4.5$  (cuartos de horas)
- $tlleg = 9$ ,  $tserv = 6$  (minutos)
- $tlleg = 540$ ,  $tserv = 360$  (segundos)
- $tlleg = 5400$ ,  $tserv = 3600$  (décimas de segundo)
- $tlleg = 54000$ ,  $tserv = 3600$  (milésimas de segundo)

Cada modelo de tiempo lo ejecutaremos mil veces y haremos una media con los valores obtenidos. Una vez establecidos los datos para las ejecuciones, procedemos a ver los resultados obtenidos para el modelo con incremento fijo del tiempo.

### 1.1.1. Incremento fijo del tiempo

Los datos obtenidos en el caso del incremento fijo del tiempo son los siguientes:

tlleg	tserve	Media de porcent. ocio	Media de clientes en cola	Media de tiempo de ejecución (seg.)
0.15	0.1	0.01289676	0	0.00077048043
4.5	3	31.742317	1.260239	0.00081458839
6.75	4.5	32.814245	1.2912124	0.00108435556
9	6	32.901228	1.3155765	0.0009692193
540	360	33.182336	1.3335208	0.0067238491
5400	3600	33.338336	1.3386199	0.06656899
54000	36000	33.186988	1.3291968	0.58698766

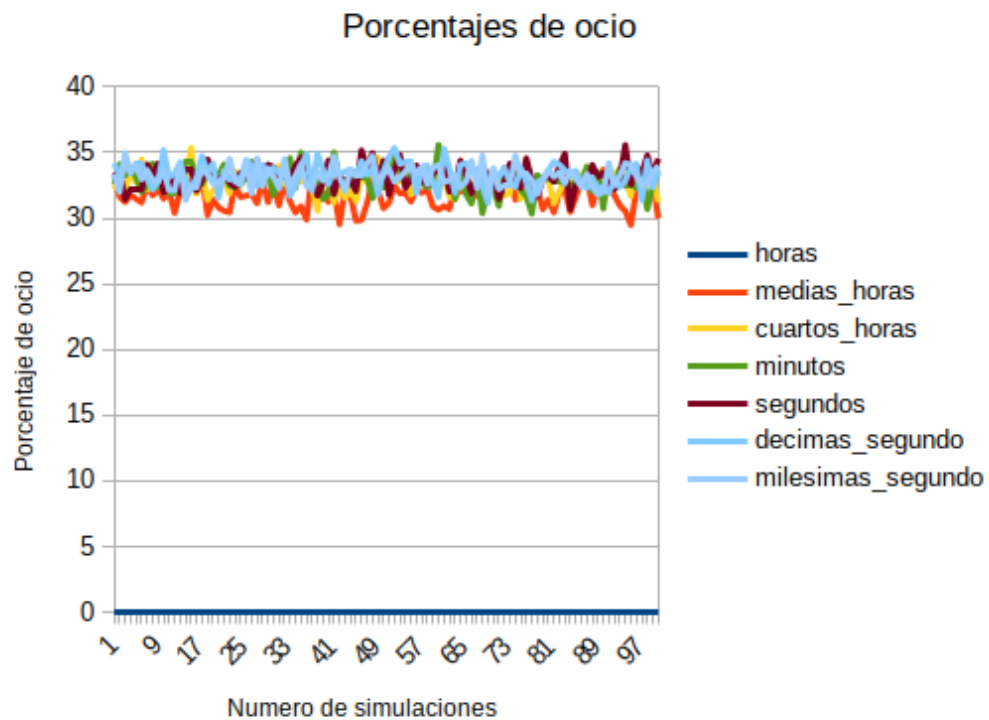


Figura 1.1: Porcentaje de ocio con incremento del tiempo fijo.

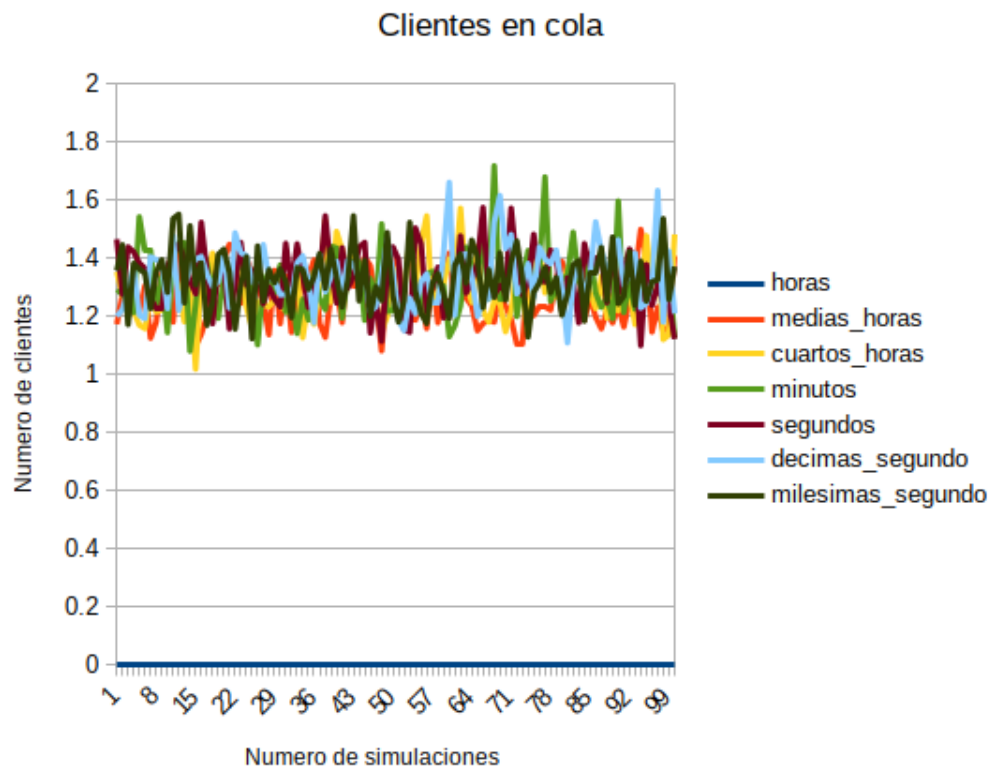


Figura 1.2: Numero de clientes en cola con incremento fijo del tiempo.

En este caso podemos ver cómo a medida de que disminuimos el tiempo de llegada y de servicio, el porcentaje de ocio crece hasta llegar a un valor medianamente estable al igual que la media de clientes en cola. Sin embargo en el caso de usar horas, no se llegan a quedar clientes esperando.

### 1.1.2. Incremento variable del tiempo

Los datos obtenidos para el caso del incremento variable del tiempo son los siguientes:

tlleg	tserv	Media de porcent. ocio	Media de clientes en cola	Media de tiempo de ejecución (seg.)
0.15	0.1	81.136741	6.357511	0.00050316099
4.5	3	33.535384	1.3574975	0.00108329201
6.75	4.5	33.599787	1.3409273	0.00073598041
9	6	33.40902	1.333977	0.00073813895
540	360	33.259578	1.3370123	0.00072627794
5400	3600	33.294838	1.3506606	0.00072098029
54000	36000	33.322672	1.3340578	0.00074971501

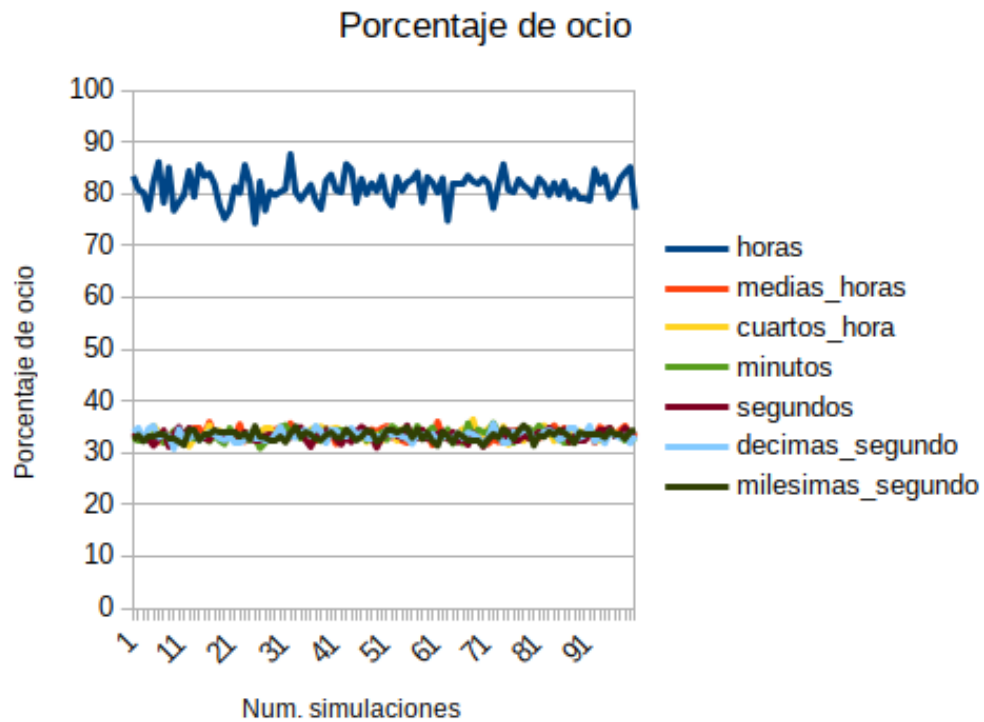


Figura 1.3: Porcentaje de ocio con incremento del tiempo variable.

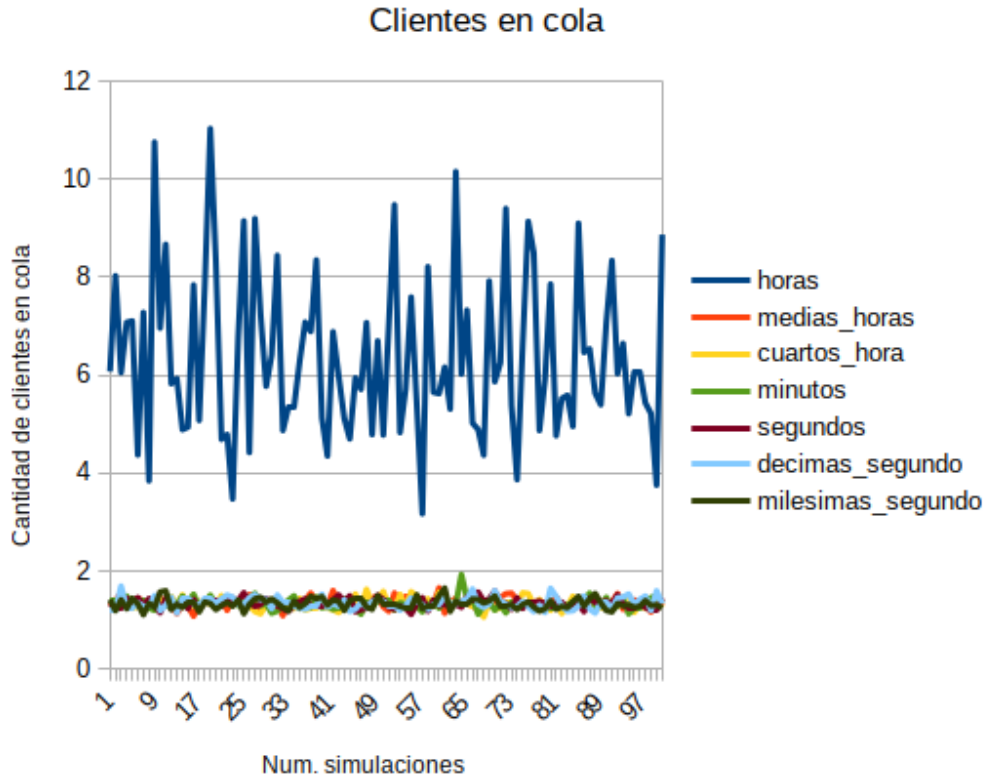


Figura 1.4: Numero de clientes en cola con incremento variable del tiempo.

En este caso, son las horas las que se ven más perjudicadas. Ésto se refleja en que el porcentaje de ocio y el número de clientes en cola es considerablemente más alto que para el resto.

Comparando los resultados obtenidos con los valores teóricos:

$$\rho = \frac{t_{serv}}{t_{lleg}} = \frac{0.1}{0.15} = 0.66667 \quad (1.1)$$

$$Q(n) \rightarrow \frac{0.66667^2}{1 - 0.66667} = 1.33335 \quad (1.2)$$

$$PTO(n) = 100 * (1 - \rho) = 100 * (1 - 0.66667) = 33.33333 \quad (1.3)$$



Viendo los resultados obtenidos por los cálculos teóricos nos damos cuenta de que a la hora de simular el modelo con un tiempo de simulación de horas los resultados obtenidos no son nada cercanos a lo esperable, y por lo tanto no sería una buena medida de tiempo para simularlo.

En el caso del resto de medidas, vemos que obtenemos valores muy similares al cálculo teórico de  $PTO(n)$  y de  $Q(n)$  en la simulación con el incremento variable del tiempo. En el caso del incremento fijo hay más variación a medida que tomamos tiempos de llegada y servicio más altos que los segundos. Con tiempos más cortos que los segundos vemos que el sistema se acerca mucho a lo esperado.

Como conclusión, si queremos simular este modelo con tiempos de llegada y de servicio más grandes que los segundos, lo ideal sería usar una simulación con incremento del tiempo variable en lugar de incrementos fijos debido a la similitud con los valores teóricos. Para tiempos de llegada y servicio más cortos, si nos fijamos en el tiempo de ejecución, lo mejor sería usar el método de incremento variable del tiempo también ya que la simulación es bastante más rápida en cualquiera de los casos, aunque si nos da igual este parámetro podríamos elegir cualquier tipo de incremento.

## Capítulo 2

# Mi Tercer Modelo de Simulación

## 2.1. Probando el modelo

En primer lugar, en el guión se pide buscar un valor de número de simulaciones donde los resultados sean relativamente estables. Para ello lo que he hecho ha sido simular dicho modelo obteniendo uno de los valores que proporciona el informe del modelo y compararlo al ejecutarlo diferentes números de veces para ver a partir de qué valor de número de simulaciones puedo considerarlo relativamente estable. La siguiente gráfica muestra dichas pruebas:

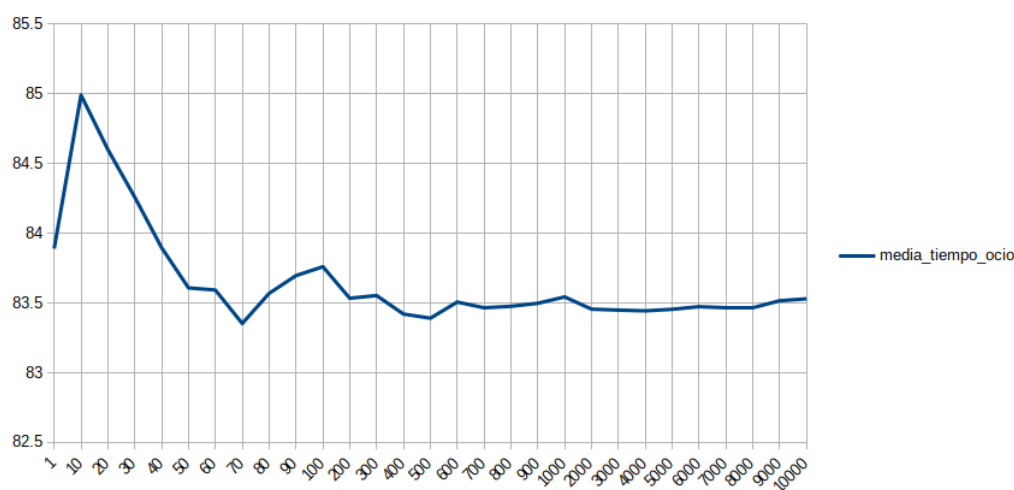


Figura 2.1: Media de tiempo de ocio con respecto al número de simulaciones.

Se puede observar que mas o menos a partir de las 700 simulaciones podemos obtener unos resultados relativamente estables.

Tomemos unos valores como referencia de este modelo usando 1000 simulaciones. Los resultados que obtenemos del modelo con un generador de datos exponencial son los siguientes:

Dato	Media	Desviación típica
Trabajos esperando a ser cargados	0.018335	0.010173
Trabajos esperando a ser descargados	0.015125	0.007785
Trabajos procesados	78.153000	9.295262
Tiempo de estancia de los trabajos	9.042354	0.885916
Porcentaje de tiempo de ocio del operario	83.544128	2.355005

Estos valores los he tomado para poder compararlos ahora con los generadores de datos uniforme y determinísticos.

## 2.2. Diferentes generadores de datos

He usado las mismas condiciones de ejecución y los datos obtenidos han sido los siguientes:

	<b>Generador determinístico</b>	<b>Generador exponencial</b>	<b>Generador Uniforme</b>
<b>Media trabajos esperando carga</b>	0	0.018335	0.007226
<b>Media trabajos esperando descarga</b>	0	0.015125	0.008656
<b>Media de trabajos procesados</b>	78	78.153000	78.161003
<b>Tiempo medio de estancia de los trabajos</b>	9	9.042354	9.069117
<b>Porcent. medio tiempo de ocio</b>	83.625	83.544128	83.515213

Nos tenemos que fijar en el generador determinístico, que es el que nos va a dar una idea de cómo de cerca se quedan los otros dos de los valores ideales ya que es el que nos proporciona los valores más optimistas del modelo, es decir, nos devuelve el mejor caso posible. Por tanto, se puede apreciar como para el número de simulaciones que realizamos del modelo, los generadores exponencial y uniforme son muy parejos en resultados, y no hay una diferencia demasiado notable entre el uso de ambos.

## 2.3. Calidad frente a cantidad

Se pide que se investigue qué ocurre si cambiamos el procesamiento con un número  $x$  de máquinas a una sola máquina que sea  $x$  veces más rápida, con un tiempo de proceso de  $\frac{t_{\text{proceso}}}{x}$ . Por tanto, he cambiado el número de máquinas del modelo a sólo una máquina y el tiempo de procesamiento al comentado y los resultados han sido los siguientes (con el mismo número de simulaciones que el comentado al principio del capítulo):

	Cantidad	Calidad
Media trabajos esperando carga	0.018335	0.085655
Media trabajos esperando descarga	0.015125	0
Media de trabajos procesados	78.153000	79.649002
Tiempo medio de estancia de los trabajos	9.042354	2.302231
Porcent. medio tiempo de ocio	83.544128	83.421150

El comportamiento en este caso es muy similar, siendo la espera de la carga un poco mayor que antes, pero el de descarga es 0 debido a la alta velocidad que tiene. En el caso de los trabajos procesados, se procesa de media 1 trabajo y medio más que en el sistema con 10 máquinas. En el caso del tiempo que tardan los trabajos en ser procesados, vemos como la velocidad de media es mucho mayor (como es de esperar). Y por último, el tiempo de ocio no ha variado notablemente.

## 2.4. Múltiples operarios

Ahora, tal y como se pide en el guión, procedo a realizar la implementación de múltiples operarios en el modelo proporcionado para la práctica.

En primer lugar, en el fichero *.h* lo que haremos será cambiar la variable booleana `operario_libre` a una variable entera que será un contador que indicará la cantidad de operarios libres en ese momento. También habrá que crear una variable `num_operarios` para indicar el número máximo de operarios que hay disponibles en el sistema.

Tras esto, en el fichero *.cpp* tendremos que actualizar el proceso de inicialización de variables, el cual tendrá que ajustar la variable `operarios_libres` (la variable que anteriormente era un `bool`) al número total de operarios disponibles ya que al inicio se encontrarán todos disponibles. Una vez hecho esto, tenemos que cambiar todas las veces que aparecía la variable booleana como condición de una sentencia *if*. Lo que habría que hacer es añadirle que la variable sea mayor que 0, o lo que es lo mismo, que haya operarios disponibles que puedan atender las peticiones. Además, hay que cambiar todas las veces que aparezca la asignación `operario_libre = true` por un incremento y cuando se le asigne `false` un decremento. Esto indicará que un operario ha sido ocupado o ha sido liberado.

Con esos cambios ya lo tendríamos todo listo, ahora solo queda probar el sistema con distinto número de elementos. Las distintas combinaciones que voy a probar son las siguientes para realizar la tarea pedida en el guión de prácticas:

- 10 operarios con `tcarga = 10` y `tdescarga = 8`
- 1 operario con `tcarga = 1` y `tdescarga = 0.8`
- 5 operarios con `tcarga = 5` y `tdescarga = 4`

Los datos obtenidos en las simulaciones (todas con un número de simulaciones de 1000) de todas estas combinaciones son los siguientes:

	<b>10 operarios</b>	<b>1 operario</b>	<b>5 operarios</b>
<b>Media trabajos esperando carga</b>	0.000976	0.075536	0.004666
<b>Media trabajos esperando descarga</b>	0	0.048112	0.003035
<b>Media de trabajos procesados</b>	77.057999	79.570000	78.613998
<b>Tiempo medio de estancia de los trabajos</b>	18.495319	3.325153	9.724446
<b>Porcent. medio tiempo de ocio</b>	71.040489	70.050056	75.504265

Si interpretamos los datos obtenidos por las tres simulaciones hechas, podemos observar como en este caso la mejor opción es tener 1 operario que sea 10 veces más rapido que cada uno de los operarios del caso de los 10 operarios. Esto lo vemos en la media de trabajos procesados, siendo de 79.57 trabajos en el caso de 1 operario frente a las 77.058 en el caso de 10 operarios y 78.61 en el caso de 5 operarios con la mitad de  $t_{carga}$  y  $t_{descarga}$  con respecto del de 10 operarios.

Seguido de esto, tendríamos que también mejoramos el sistema en el caso de usar la mitad de operarios pero el doble de rápidos que en el caso inicial ya que son capaces de conseguir un trabajo más que en la simulación de los 10 operarios.

## Capítulo 3

# Análisis de Salidas y Experimentación



### 3.1. ¿Cuánto hay que simular?

Para este primer apartado, el guión pide que comparemos dos configuraciones para el sistema que nos encontramos estudiando:

- La configuración A con 10 máquinas y 2 operarios y con tiempos de carga y descarga de 3 y 2 minutos.
- La configuración B con 10 máquinas y 1 operario y con tiempos de carga y descarga de 1.5 y 1 minutos.

En primer lugar se nos pide que probemos el sistema con 1 simulación y repitamos 100 veces para obtener el porcentaje de veces que es preferible un sistema frente a otro. Los datos que obtenemos de hacer esto lo vemos en la siguiente gráfica:

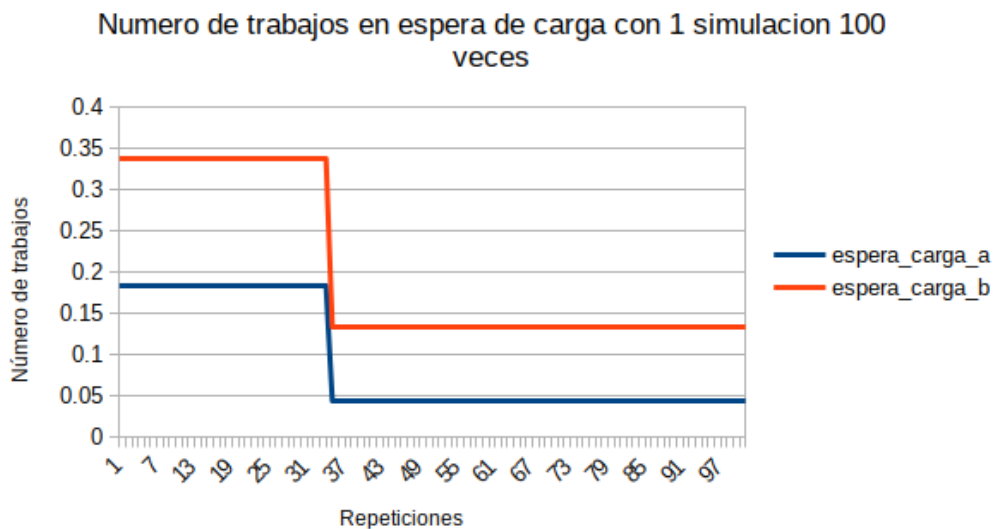


Figura 3.1: Numero de trabajos en espera de carga con 1 simulación repetido 100 veces

En este caso podemos ver que el 100 % de las veces escogemos el sistema A, ya que es el que obtiene menor número de trabajos en espera de carga.

Para el caso de ejecutar 5 simulaciones para cada sistema obtenemos los siguientes resultados:

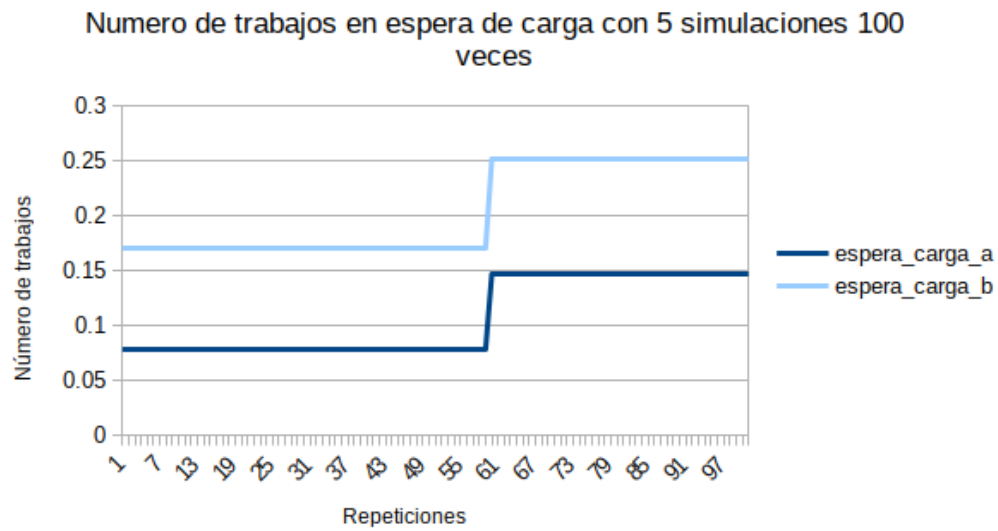


Figura 3.2: Número de trabajos en espera de carga con 5 simulaciones repetido 100 veces

Y en este caso también vemos que el 100 % de las veces escogeríamos el sistema con la configuración de A. En el guión se pide que se repita esto mismo pero usando 10, 100, 500, 1000 y 10000 simulaciones. Los resultados los podemos ver en la siguiente gráfica:

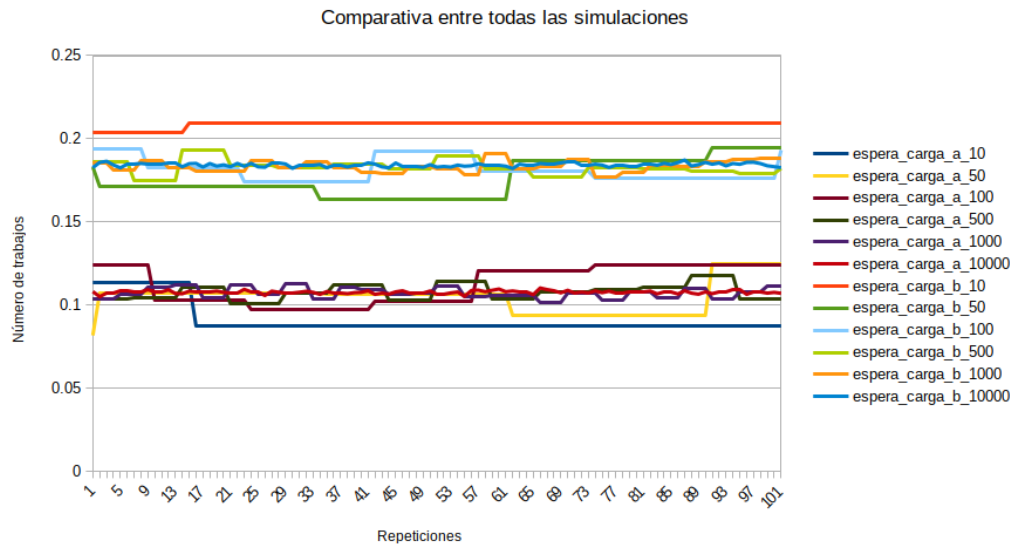


Figura 3.3: Comparativa entre ambos sistemas con 10, 100, 500, 1000 y 10000 simulaciones.

La interpretación que sacamos a partir de esta gráfica es que a medida que aumentamos el número de simulaciones, obtenemos unos valores cada vez más precisos. En este caso podemos ver como es la configuración del sistema A el que obtiene un menor número de trabajos en espera de carga para todas las simulaciones, lo que se puede observar si nos fijamos en el conjunto de gráficas de la parte inferior las cuales son todas del sistema A para los distintos números de simulaciones.

Por último, el guión pide que se haga lo mismo pero en este caso que comparemos en función del número total de trabajos procesados. En este caso nos tenemos que fijar quién tiene un mayor número de trabajos procesados para saber cuál es el mejor sistema. A continuación se muestran los datos obtenidos en forma de gráfica:

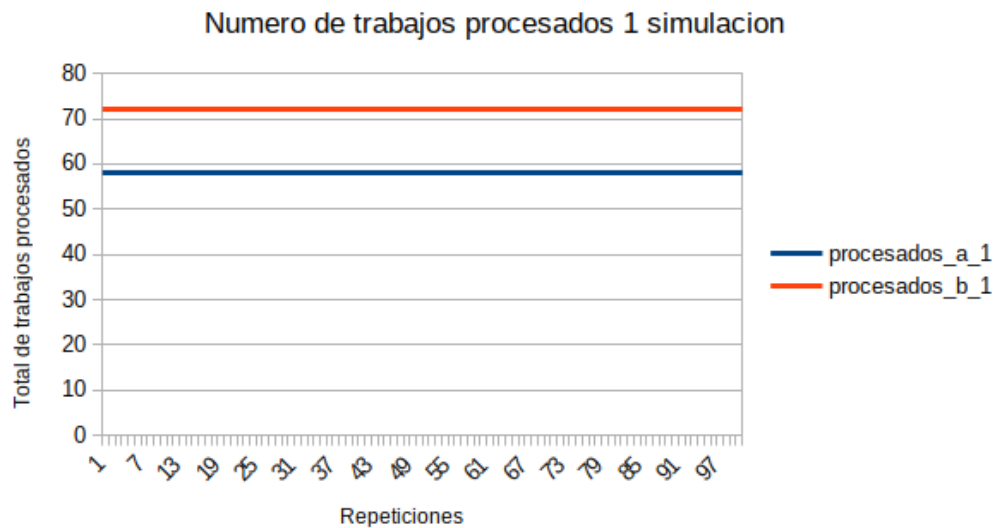


Figura 3.4: Total de trabajos procesados con 1 simulación repetido 100 veces

En esta gráfica podemos ver como es el sistema con la configuración B el que obtiene un mejor resultado el 100 % de las veces que se ejecuta. Vamos a ver ahora qué ocurre si usamos 5 simulaciones 100 veces:

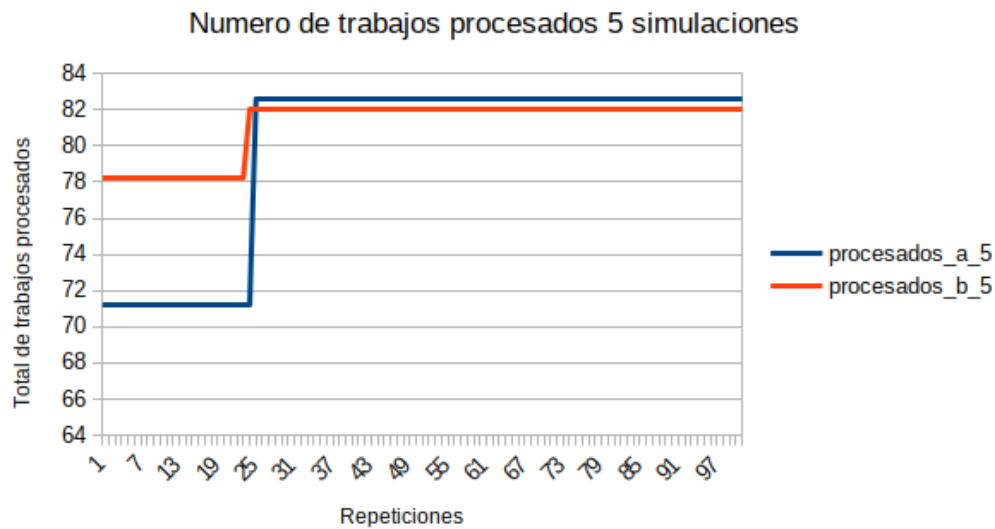


Figura 3.5: Total de trabajos procesados con 5 simulaciones repetido 100 veces

En este caso obtenemos un resultado distinto. En aproximadamente un 27.5 % de las veces obtenemos que el B es el sistema preferible ya que procesa más trabajos que el sistema con la configuración A. En el resto de casos, preferimos escoger el sistema A frente al B.

Ahora en el caso de ejecución de diferente número de simulaciones, si agrupamos todas las representaciones gráficas en una, no podremos ver con claridad qué sistema es mejor que el otro. Voy a poner aquí 3 gráficas que representan exactamente qué es lo que va ocurriendo a medida que aumentamos el número de simulaciones a la hora de elegir un sistema frente a otro.

En la primera figura se representa cómo varían los datos cuando tenemos un número de simulaciones bastante reducido para el sistema, en el que no sabríamos qué sistema elegir con certeza:

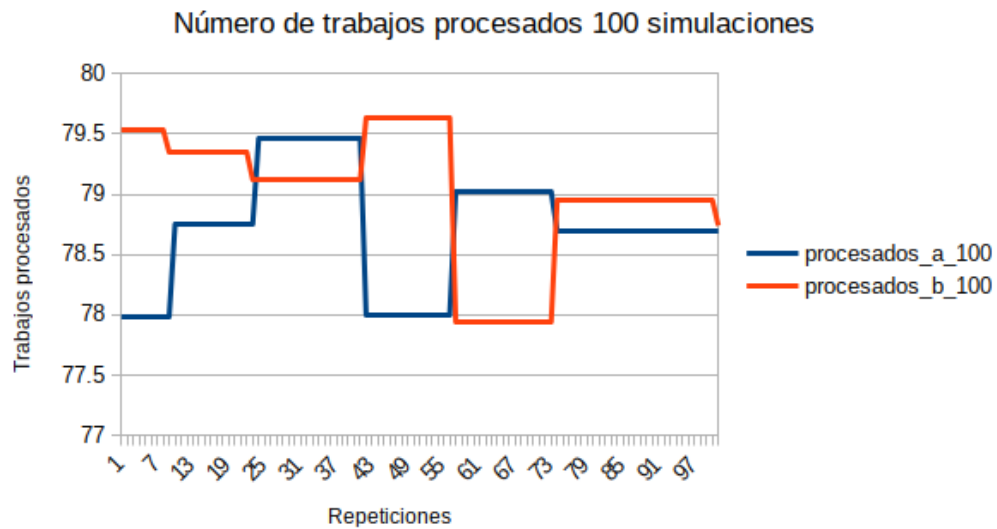


Figura 3.6: Total de trabajos procesados con 100 simulaciones repetido 100 veces

En el segundo caso, vemos como con 1000 simulaciones en cada sistema podemos empezar a ver un claro sistema mejor que el otro, que en este caso se va decantando por el sistema B ya que es el que mayor porcentaje de trabajos procesados saca:

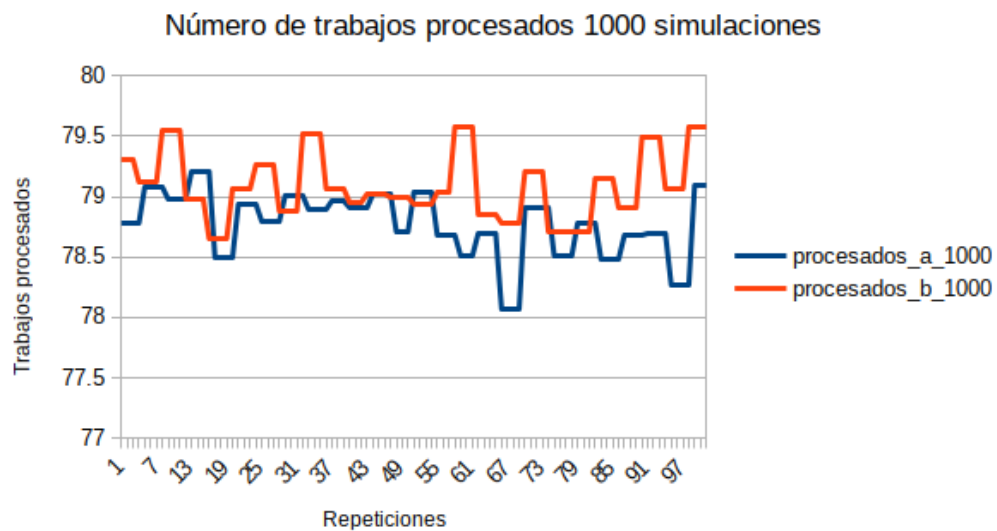


Figura 3.7

Y por último, en el caso de las 10000 simulaciones para ambos sistemas, aclaramos lo que decíamos con la gráfica de 1000 simulaciones, en la que empezábamos a ver más o menos cómo B iba obteniendo mejores resultados que A pero en algunos casos era A el que lo superaba. Aquí estamos seguros al 100 % de que el sistema que tendríamos que escoger en función del número de trabajos procesados es el sistema con la configuración B.

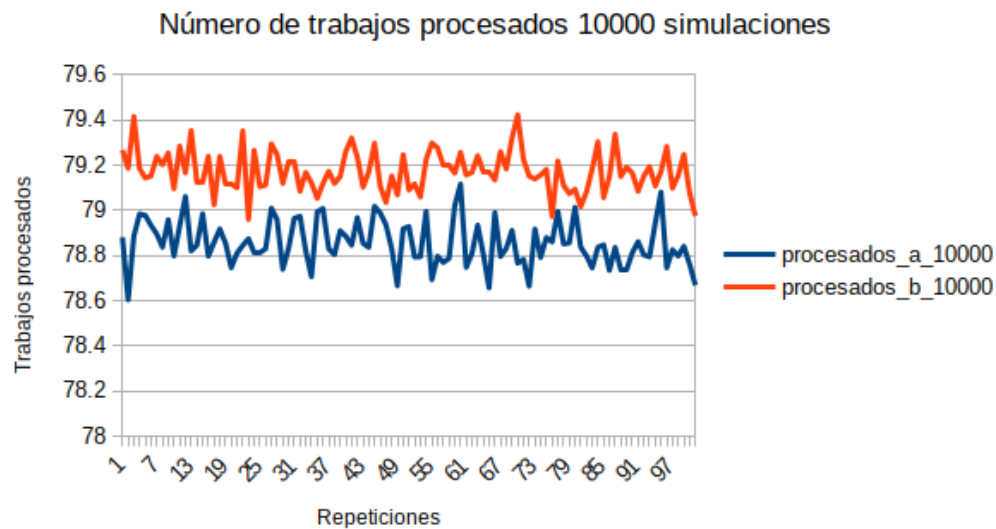


Figura 3.8

### 3.2. Intervalos de confianza

### 3.3. Comparación de más de dos sistemas