UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Simulación de Sistemas
grado en ingeniería informática

Práctica 3

Modelos de Simulación Dinámicos y Discretos

Autor
Vladislav Nikolov Vasilev

Rama
Computación y Sistemas Inteligentes

Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación

Curso 2019-2020

Índice

1. Mi segundo modelo de simulación discreto

En esta sección vamos a estudiar primero el comportamiento de un modelo de simulación de un servidor con una única cola, y después de m servidores con una única cola. Vamos a ver cómo distintos métodos de incremento del itempo pueden afectar al funcionamiento del sistema, y discutiremos cuál de ellos es mejor.

1.1. Método de incremento fijo del tiempo

El primer método de incremento del tiempo que vamos a estudiar es el incremento fijo. Como su propio nombre indica, el tiempo se va incrementando en una cantidad fija, tal como lo hace un reloj normal. Esta cantidad viene decidida por la persona que va a utilizar el sistema (pueden ser minutos, segundos, milésimas, horas, etc.).

Debido a la naturaleza de dicho incremento, la variable de tiempo debe ser tratada como una variable entera. Por tanto, aunque en el pesudocódigo proporcionado se generen las llegadas y el servicio utilizando valores reales, dichos valores obtenidos deben ser transformados a enteros, redondeándolos al entero más próximo. Además, si el valor que se obtiene al hacer las transformaciones correspondientes es 0, se debe devolver 1, ya que si no, se generaría un suceso en el tiempo actual y, al incrementar el tiempo en una unidad, ese suceso se quedaría en un tiempo anterior al nuevo actual, y por tanto, nunca se podría llevar a cabo.

Una vez dicho esto, vamos a experimentar con el sistema. Para ello, vamos a utilizar las siguientes unidades de tiempo: horas, medias horas, cuartos de hora, minutos, segundos, décimas de segundo y milésimas de segundo. En cada caso simularemos que se tienen que atender 10000 clientes, y repetiremos cada ejecución 100 veces. De ahí, podremos ver los valores obtenidos en cada simulación y los valores medios para el número medio de clientes en la cola y el porcentaje de tiempo de ocio del servidor. Además, veremos cuánto tarda cada simulación y el tiempo medio que han tardado todas las simulaciones, aunque en la tabla se reflejará solo este último valor. Vamos a pintar también en algunos de los casos gráficas para ver cómo van evolucionando los resultados que se obtienen en cada una de las 100 simulaciones, para ver si de verdad se parecen a los resuldatos medios. Los valores de `tlleg` y `tserv` son 9 y 6 minutos, respectivamente, aunque aparecerán reflejados según la unidad de tiempo correspondiente.

Una vez hechas todas las simulaciones, se han obtenido los siguientes resultados:

`tlleg`	`tserv`	**Num. medio clientes cola**	**% medio tiempo ocio servidor**	**Tiempo ejecución medio**
0.15	0.1	0.0262607	0.138175	0.000593755
0.3	0.2	0.21363	2.93386	0.000889945
0.6	0.4	0.550758	11.669	0.000932894
9	6	1.25962	31.5821	0.00104538
540	360	1.33738	33.3778	0.0119809
5400	3600	1.32336	33.4474	0.134477
54000	36000	1.344	33.1509	1.33758

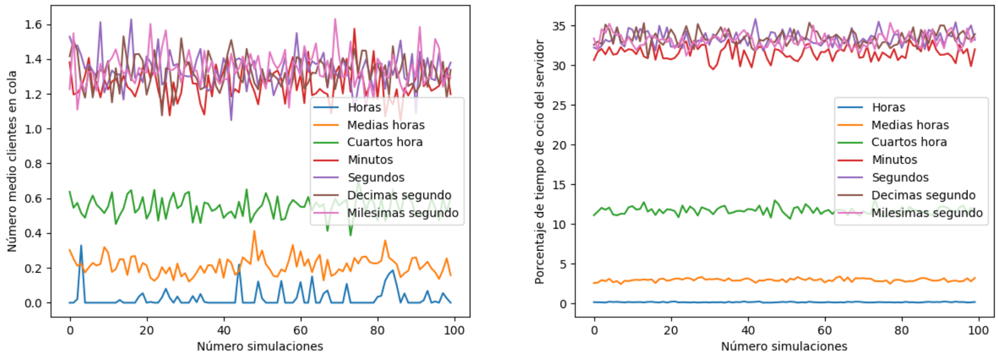
Cuadro 1: Resultados obtenidos por el incremento de tiempo fijo.

A primera vista podemos ver que a medida que `tlleg` y `tserv` usan unidades más pequeñas de tiempo (y por tanto, sus valores son más altos), los resultados obtenidos se van incrementando, hasta el punto en el que parece que se estabilizan. Lo que sucede es que cuando las unidades de tiempo son grandes, los valores de `tlleg` y `tserv` son menores que 0. Al llamar a los generadores, se producirán valores próximos a 0, y al redondearlos, estos pasan a valer 0. Como el generador no puede devolver 0, devuelve 1. Por tanto, lo que estamos haciendo en realidad es sobreestimar la duración de un suceso, por lo que los valores obtenidos no serán reales, ya que se va acumulando el error al haber sobreestimado. Este es un problema de los métodos de incremento fijo del tiempo, y a la vez es una fuerte desventaja, ya que dependiendo de la unidad de tiempo que se utilice, los valores obtenidos serán más o menos representativos de los que se podrían obtener de forma teórica.

Aparte de esto, si analizamos los resultados vemos que los tiempos medios de ejecución se van incrementando, debido a que se debe incrementar más veces el reloj hasta llegar a un suceso. El valor medio del número medio de clientes en cola, $Q(n)$, parece estabilizarse en torno a 1.33, y el valor medio del porcentaje de tiempo de ocio del servidor, $PTO(n)$ parece estabilizarse al final en torno al 33 %. Para unidades de tiempo superiores a los segundos los resultados obtenidos no son representativos, ya que se quedan demasiado lejos de los valores obtenidos al utilizar unidades de tiempo más pequeñas. Por tanto, parece ser que, en caso de utilizar generadores de incremento fijo, lo suyo sería utilizar unidades de tiempo más pequeñas (es decir, que los valores sean grandes), ya que de esta forma se cometerá menos error.

Ahora, pasemos a estudiar el comportamiento del sistema para cada simulación. Vamos a ver qué resultados se han obtenido para el número de medio de clientes en cola y para el porcentaje de tiempo de ocio del servidor. Vamos a estudiar dicha evolución con gráficas, tal y como se mencionó anteriormente, para ver si hay mucha discrepancia entre los valores medios obtenidos. Vamos a realizar un estudio de todos los resultados de forma conjunta.

A continuación se pueden ver las gráficas mencionadas en el párrafo anterior:



(a) Número medio de clientes en la cola. (b) Porcentaje de tiempo de ocio del servidor.

Figura 1: Variación de los resultados a lo largo de las simulaciones.

Vemos que, tal y como habíamos dicho antes, para unidades de tiempo más grandes que los minutos, los valores de $Q(n)$ y $PTO(n)$ están bastante alejados del resto. En aquellos casos en los que se usa como unidad de tiempo una que es el minuto o inferior a ésta los resultados sí que están próximos, y parece que se aproximan a los valores medios obtenidos. Vemos que en todos los casos existe cierta variabilidad entre los resultados de una simulación o de otra. Por tanto, no podríamos fiarnos solo de los resultados obtenidos por una simulación, sino que, tal y como llevamos haciendo hasta ahora, habría que hacer algunas simulaciones y promediar.

Por tanto, como pequeña conclusión de esta parte, podemos sacar que es importante escoger una unidad de tiempo adecuada, ya que si no lo es, va a provocar que los resultados no sean del todo buenos. Si hemos escogido una unidad de tiempo adecuada, los resultados que obtengamos serán buenos, ya que estarán bastante relacionados entre sí, justo como ha pasado aquí.

1.2. Método de incremento variable del tiempo

El siguiente método de incremento del tiempo que vamos a estudiar es el incremento variable. En este caso, el tiempo no se va incrementando de manera fija como sucedía anteriormente, si no que se incrementa hasta el suceso más próximo de una. Por tanto, este método parece ser mucho más eficiente, ya que evita tener que pegar demasiados saltos y evita errores como los que se producían anteriormente.

Para ver como funciona este tipo de incremento, vamos a realizar los mismos experimentos que en la sección anterior, de forma que tengamos resultados comparables. A continuación se puede ver una tabla con los resultados:

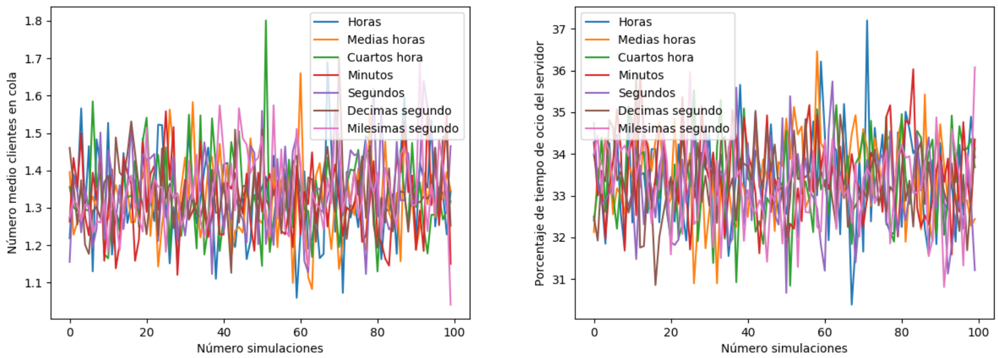
`tlleg`	`tserv`	**Num. medio clientes cola**	**% medio tiempo ocio servidor**	**Tiempo ejecución medio**
0.15	0.1	1.32894	33.3767	0.000731009
0.3	0.2	1.32033	33.4927	0.000986358
0.6	0.4	1.335	33.3979	0.000692968
9	6	1.32356	33.5117	0.000969834
540	360	1.35058	33.1523	0.000713056
5400	3600	1.33727	33.3192	0.000690027
54000	36000	1.34364	33.2906	0.000895026

Cuadro 2: Resultados obtenidos por el incremento de tiempo variable.

Podemos ver que en general los resultados obtenidos en todos los casos son más o menos iguales, tanto para los valores de $Q(n)$ como de $PTO(n)$. Además, los tiempos de ejecución son casi los mismos en todos los casos, por lo tanto son independiendes de la unidad de tiempo utilizada, a diferencia del caso anterior. Aquí los tiempos son casi constantes, ya que existe poca o muy poca variación entre éstos. Observando los tiempos de la tabla 1, vemos que, a medida que usamos medidas de tiempo más pequeñas, los tiempos medios se van haciendo más grandes, experimentando lo que parece ser un crecimiento lineal, ya que el número de veces que se incrementará el reloj aumenta. Aquí, los incrementos solo dependen del número de sucesos, mientras que en el caso anterior dependían de la unidad de medida de tiempo. Por tanto, de aquí podemos concluir que, efectivamente, el incremento variable del tiempo es muchísimo más eficiente que el incremento fijo del tiempo, ya que el primero es constante, independientemente de la unidad de medida utilizada, mientras que el segundo es lineal, ya que en función de la unidad de medida del tiempo utilizada tardará más o menos (será más rápido para las unidades más grandes).

Si comparamos la calidad de los resultados, vemos también que en general son mucho mejores. Vemos que incluso utilizando unidades de tiempo grandes, como por ejemplo horas, los valores medios obtenidos son muy parecidos a los que se obtienen con unidades más pequeñas, como por ejemplo las décimas de segundo. Esto es completamente lo opuesto a lo que sucedió anteriormente, ya que los resultados eran muy dispares. Por tanto, parece que el incremento de tiempo variable es independiente de la unidad de medida usada, a diferencia del incremento fijo del tiempo.

Si observamos los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones, nos encontramos con lo siguiente:



(a) Número medio de clientes en la cola. (b) Porcentaje de tiempo de ocio del servidor.

Figura 2: Variación de los resultados a lo largo de las simulaciones.

Tal y como pasaba antes, vemos que existen variaciones entre los resultados obtenidos para cada simulación. No obstante, vemos que son bastante parecidos en general. Parece que oscilan en torno a la media, tal y como pasaba antes. De nuevo, si hubiésemos tomado el resultado de una única simulación como el correcto, nos hubiésemos equivocado ya que, tal y como hemos visto, existe una ligera variación en los resultados.

Ahora que hemos visto los dos modelos, podemos hacer una comparación de cómo de buenos son los resultados ofrecidos. Para ello, nos podemos servir de las expresiones teóricas. Para hacer los cálculos, vamos a utilizar los tiempos expresados en minutos, para facilitar el cómputo. Primero tenemos que calcular ρ:

$$\rho = \frac{\texttt{tserv}}{\texttt{tlleg}} = \frac{6}{9} = \frac{2}{3} = 0.\widehat{6} \tag{1}$$

Ahora, podemos calcular el valor teórico de $Q(n)$:

$$Q(n) = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{\left(\frac{2}{3}\right)^2}{1-\frac{2}{3}} = \frac{\frac{4}{9}}{\frac{1}{3}} = \frac{12}{9} = \frac{4}{3} = 1.\widehat{3} \tag{2}$$

Y también el de $PTO(n)$:

$$PTO(n) = 100 \cdot (1-\rho) = 100 \cdot \left(1 - \frac{2}{3}\right) 100 \cdot \frac{1}{3} = \frac{100}{3} = 33.\widehat{3} \tag{3}$$

Si comparamos los resultados de la tabla 1 con los teóricos, vemos que el incremento fijo de tiempo solo ofrece resultados parecidos a los teóricos cuando las unidades de tiempo utilizadas son pequeñas. A partir de los segundos podríamos decir realmente que son resultados correctos. A excepción de los minutos, que ofrecen unos resultados aproximados aunque con cierto error, las medidas de tiempo más grandes nos ofrecerían valores con demasiado error como para considerarlos válidos.

En cambio, todos los resultados medios obtenidos por el incremento variable del tiempo, tal y como se pueden ver en la tabla 2, son muy próximos, por no decir casi iguales, a los resultados teóricos, independientemente de la unidad de medida del tiempo utilizada. Por tanto, la calidad de los resultados ofrece el incremento variable del tiempo es muy superior a la del incremento fijo del tiempo.

Como conclusión, podemos decir que, tras estudiar los dos casos, hemos visto que el incremento variable del tiempo es órdenes de magnitud más eficiente que el incremento fijo del tiempo, y además, permite obtener unos resultados de mayor calidad, independientemente de qué medida del tiempo se use.

1.3. Modelo dinámico discreto de m servidores con una única cola

En esta sección vamos a estudiar un modelo algo más complejo que el anterior, en el cuál tenemos m servidores con una única cola. Vamos a empezar a estudiar el sistema primero con $m = 1$, de forma que podamos verificar utilizando valores teóricos. Posteriormente, estudiaremos el sistema al aumentar m y haciendo que el tiempo de servicio de los servidores se mantenga constante; es decir, vamos a hacer que `tserv` dividido m sea igual tanto para $m = 1$ como para valores más elevados. También probaremos a simular más de una vez, y además, cambiaremos los simuladores de datos, para ver qué efecto tiene dicho cambio sobre el sistema.

1.3.1. Verificación del sistema

Vamos a empezar experimentando con el servidor para ver si los resultados ofrecidos son buenos o no. Para ello, vamos a establecer una serie de condiciones:

- Como medida del tiempo utilizaremos los minutos, ya que no se especifica ninguna medida concreta con la que realizar las pruebas y porque el cáclulo de los valores teóricos será más sencillo. Por tanto, tendremos que `tlleg` $= 9$ y `tserv` $= 6$.
- Como al sistema se le tiene que especificar cuál es el tiempo de parada, vamos

a utilizar los siguientes tiempos: 100, 1000, 10000, 100000, 1000000. De esta forma, vamos a ver cómo evolucionan los resultados obtenidos al hacer la simulación más larga.

Una vez hechas las simulaciones correspondientes, se pueden ver los resultados a continuación:

	Tiempo parada				
	100	**1000**	**10000**	**100000**	**1000000**
T. medio espera en cola	14.319	6.660	9.228	11.988	11.970
T. medio estancia en sistema	20.319	12.660	15.228	17.988	17.970
Núm. medio clientes en cola	2.233	0.770	1.022	1.332	1.328
Núm. medio clientes en sistema	3.128	1.355	1.682	1.998	1.992
Long. media colas no vacías	2.860	2.166	2.474	3.006	2.996
% tiempo ocio servidor	10.530	41.511	34.085	33.362	33.507
Long. máx. cola	5	7	10	17	26

Cuadro 3: Resultados experimentando con el tiempo de parada.

Para comparar dichos resltados, vamos a calcular los valores teóricos, los cuáles tienen sentido cuando el sistema está en funcionamiento un tiempo lo suficientemente grande como para aproximarse a infinito. Los resultados podemos verlos a continuación:

- Tiempo medio de espera en cola $= \frac{tserv^2}{tlleg - tserv} = \frac{6^2}{9-6} = \frac{36}{3} = 12$
- Tiempo medio de estancia en el sistema $= \frac{tserv \cdot tlleg}{tlleg - tserv} = \frac{6 \cdot 9}{9-6} = \frac{54}{3} = 18$
- Número medio de clientes en cola $= \frac{tserv^2}{tlleg(tlleg - tserv)} = \frac{6^2}{9 \cdot (9-6)} = \frac{36}{27} = 1.\widehat{3}$
- Número medio de clientes en el sistema $= \frac{tserv}{tlleg - tserv} = \frac{6}{9-6} = \frac{6}{3} = 2$
- Longitud media de colas no vacías $= \frac{tlleg}{tlleg - tserv} = \frac{9}{9-6} = \frac{9}{3} = 3$

- Porcentaje de tiempo de ocio del servidor $= \left(1 - \frac{tserv}{tlleg}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{6}{9}\right) \cdot 100 = \frac{100}{3} = 33.\widehat{3}$

Ahora, pasemos a analizar los resultados obtenidos. Vemos que para un tiempo de simulación pequeño, los resultados obtenidos se alejan bastante de los teóricos, ya que éstos últimos son para cantidades de tiempo que tienden a infinito. Notamos, no obstante, que a medida que se aumenta el tiempo de simulación, los valores sí que empiezan a tender a los teóricos. A partir de un tiempo de simulación de 100000 unidades vemos que los resultados ya sí que casi iguales a los teóricos, con un cierto margen de error, obviamente. Por tanto, si quisiéramos obtener unos resultados acordes a los teóricos para cualesquiera valores de `tlleg` y `tserv`, deberíamos simular durante un tiempo lo suficientemente grande, siempre acorde al tamaño de las unidades de tiempo.

1.3.2. Aumento del número de servidores

Vamos a aumentar ahora el número de servidores que usamos, pero vamos a aumentar el valor de `tserv` de forma proporcional al número de servidores, tal y como se comentó anteriormente.

Para hacer la experimentación, vamos a probar con 2, 3, 4, 5 y 10 servidores, y por tanto, con unos valores de `tserv` de 12, 18, 24, 30 y 60. En cada caso simularemos durante 100000 unidades de tiempo, ya que antes ha permitido obtener unos resultados que se aproximaban a los teóricos.

	Número de servidores					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**10**
T. medio espera en cola	11.988	9.288	7.639	6.999	5.074	2.548
T. medio estancia en sistema	17.988	21.288	25.639	30.999	35.074	62.548
Núm. medio clientes en cola	1.332	1.016	0.851	0.780	0.554	0.284
Núm. medio clientes en sistema	1.998	2.317	2.854	3.450	3.819	6.914
Long. media colas no vacías	3.006	3.009	2.846	3.026	2.798	2.854
% tiempo ocio servidor	33.362	34.981	33.258	33.255	34.702	33.709
Long. máx. cola	17	21	15	19	16	12

Cuadro 4: Resultados variando el número de servidores.

Los resultados pueden verse en la tabla 4. Vemos que, en general, existen mejoras al aumentar el número de servidores. Vemos que los tiempos de espera en cola se reducen, al igual que el número medio de clientes en cola y la longitud media de las colas no vacías. Por otro lado, el tiempo de estancia en el sistema aumenta, al igual que el número medio de clientes en el sistema. No obstante, como podemos ver, la longitud máxima de la cola no experimenta mucha mejora (se podrían llevar a cabo tests estadísticos para ver si existe o no mejora significativa), y el porcentaje de tiempo de ocio del servidor se mantiene casi constante.

Por tanto, aumentar el número de servidores del que se dispone perimite obtener en general mejores resultados. No obstante, el tiempo de ocio va a ser el mismo en todos los casos, con lo cuál habrá potencia de cómputo desaprovechada siempre. Por tanto, si quisiéramos recomendar la mejor opción, tendríamos que encontrar un equilibrio entre los resultados que queramos conseguir y el presupuesto del que dispongamos, ya que este último factor influirá mucho a la hora de decantarnos por una u otra opcion.

1.3.3. Cálculo de valores medios

Lo siguiente que tenemos que hacer es modificar el sistema para que sea capaz de realizar más de una simulación. Para ello, hace falta llevar una cuenta de los valores que se van obteniendo, con el objetivo de poder sacar un valor medio final a partir de ellos, junto con su correspondiente desviación típica.

Después de realizar algunas modificaciones del sistema, vamos a ver qué resultados ofrece. Para ello, vamos a obtener una tabla parecida a las anteriores, en las que probaremos a simular 100 y 1000 veces para distintos tiempos de parada, como por ejemplo 1000 y 10000, para ver qué resultados medios se obtienen (si son mejores que los que había antes) junto con su desviación típica. Los tiempos son los mismos de antes, con lo cuál no los comentaremos.

Los resultados se pueden ver en la tabla 5. Podemos ver que al repetir las simulaciones una serie de veces, se consiguen mejores resultados de media. Para el caso del tiempo de parada de 1000, los resultados son peores que los de 10000. Además, la desviación típica es bastante grande, con lo cuál existe mucha variación de los resultados. Sin embargo, para el caso de 10000 unidades de tiempo, los resultados son bastante buenos, sobre todo si los comparamos con los de la tabla 3. En este caso se acercan más a la media, y tienen una desviación típica moderada, sin ser tan grande como en el caso de las 1000 unidades. Por tanto, de aquí podemos concluir que es importante realizar no una, si no un conjunto de simulaciones, y promediar los resultados obtenidos. Este acercamiento permite obtener resultados mucho más precisos que si simplemente se ejecuta una vez el sistema, ya que los procesos estocásticos son mucho más notables en una única simulación que en el promedio de un conjunto de simulaciones.

	Tiempo parada			
	1000		**10000**	
	Núm. simul.		**Núm. simul.**	
	100	**1000**	**100**	**1000**
T. medio espera en cola	10.012 ± 5.093	10.690 ± 6.705	11.646 ± 2.230	11.876 ± 2.496
T. medio estancia en sistema	16.012 ± 5.093	16.690 ± 6.705	17.646 ± 2.230	17.876 ± 2.496
Núm. medio clientes en cola	1.148 ± 0.645	1.229 ± 0.865	1.291 ± 0.258	1.326 ± 0.298
Núm. medio clientes en sistema	1.800 ± 0.710	1.883 ± 0.928	1.954 ± 0.276	1.992 ± 0.319
Long. media colas no vacías	2.557 ± 0.849	2.684 ± 1.104	2.905 ± 0.409	2.963 ± 0.471
% tiempo ocio servidor	34.823 ± 8.434	34.586 ± 8.560	33.677 ± 2.499	33.371 ± 2.803
Long. máx. cola	7.230 ± 2.730	7.463 ± 2.925	12.590 ± 2.656	12.872 ± 3.234

Cuadro 5: Resultados experimentando con el número de simulaciones.

1.3.4. Modificando los generadores de datos

Por úlitmo, vamos a experimentar modificando los generadores de datos para ver cómo influyen éstos en los resultados obtenidos. Se pide implementar un generador determinísitico, el cuál devuleve siempre los valores medios, los cuáles son en este caso 9 para `tlleg` y para `tserv`; y un generador uniforme que tenga como media los dos valores anteriormente mencionados. Para conseguir esto, basta con generar un uniforme en el rango $[0, 1)$ y multplicar dicho valor por dos veces el valor medio. De esta forma se obtiene un valor en el rango $[0, 2t)$, donde t es `tlleg` o `tserv`. Así nos aseguramos de que los dos valores anteriores son los centrales del intervalo, y por tanto, son el valor medio (recordemos que el valor medio de un intervalo uniforme $[a, b)$ es $\frac{1}{2}(a + b)$, de forma que aquí el valor medio es t).

Una vez implementados, para ver cómo se comportan, vamos a comparar los resultados obtenidos para un tiempo de simulación de 100000 unidades, ya que se considera un valor adecuado, con los obtenidos orignalmente, los cuáles se pueden ver en la tabla 3.

Los resultados los podemos ver en la tabla 6. Vemos que para el generador determinístico los valores obtenidos son los ideales, los mejores que se podrían obtener, ya que ningún cliente espera en cola y el tiempo que está un cliente en el sistema es justamente lo que tarda en ser atendido. Sin embargo, los resultados son irreales, ya que nunca o casi nunca nos encontraremos con una situación así, debido a que hay muchos factores que pueden alterar por ejemplo el tiempo de servicio (por ejemplo, que se produzca un fallo mientras se atienda a un cliente). Además, los resultados están casi totalmente alejados de los teóricos, excepto el porcentaje de tiempo de ocio del servidor. Por tanto, debemos evitar utilizar estos tipos de generadores, ya que no ofrecen resultados fiables.

El generador uniforme, por otra parte, obtiene resultados diferentes al determinístico, pero aun así, son bastante malos en general, ya que se quedan bastante lejos de los teóricos. El único valor obtenido que está más o menos cerca del valor teórico es el porcentaje de tiempo de ocio del servidor, aunque sucedía lo mismo con el generador determinístico. Por tanto, no podemos decir que sea la mejor de las ideas utilizar este generador para este problema, ya que no modela la realidad del todo bien.

	Generador exponencial	**Generador determinístico**	**Generador uniforme**
T. medio espera en cola	11.988	0	3.398
T. medio estancia en sistema	17.988	6	9.398
Núm. medio clientes en cola	1.332	0	0.377
Núm. medio clientes en sistema	1.998	0.667	1.036
Long. media colas no vacías	3.006	0	1.468
% tiempo ocio servidor	33.362	33.339	34.062
Long. máx. cola	17	0	7

Cuadro 6: Resultados experimentando con el tipo de generador.

Por tanto, de aquí podemos concluir que es importante escoger un generador adecuado para el problema, uno que permita modelar de la mejor manera posible la realidad. Para este caso, por ejemplo, el generador exponencial es el que mejor modela los ratios de llegadas y servicio de un sistema, ya que nun nos encontraremos que los valores sean exactamente los medios, o que sigan una distribución uniforme, ya que no es el comportamiento típico.

2. Mi Tercer Modelo de Simulación Discreto

2.1. Remolcador de un puerto

3. Análisis de Salidas y Experimentación