



UNIVERSIDAD DE GRANADA

SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Práctica 3

Alejandro Manzanares Lemus

`alexmnzlbs@correo.ugr.es`

22 de diciembre de 2020

Índice general

1. Mi Segundo Modelo de Simulación Discreto	2
1.1. Modelo de simulación de incremento fijo	2
1.2. Modelo de simulación de incremento variable	2
1.3. Comparación de ambos modelos	2
1.3.1. Eficiencia de los modelos	2
1.3.2. Precisión de los modelos	4
1.4. Comparación del modelo con diferentes parámetros	9
1.5. Configuración óptima del modelo	11
1.6. Modificación al modelo original	11
1.7. Configuración óptima del nuevo modelo	11
2. Mi Tercer Modelo de Simulación Discreto	12
2.1. Modificaciones al sistema	12
2.2. Comparativa de las modificaciones	12
3. Análisis de Salidas y Experimentación	13
3.1. Comparación de modificaciones	13
3.1.1. Modelo A vs Modelo B	13
3.1.2. Modelo A vs Modelo C	14
3.2. Comparación mediante intervalos de confianza	15
3.2.1. Modelo A vs Modelo B	15
3.2.2. Modelo A vs Modelo C	15

Apartado 1:

Mi Segundo Modelo de Simulación Discreto

1.1: Modelo de simulación de incremento fijo

El código del simulador de incremento fijo se encuentra disponible en `src/sistema_tiempo_fijo.cpp`.

1.2: Modelo de simulación de incremento variable

El código del simulador de incremento variable se encuentra disponible en `src/sistema_tiempo_variable.cpp`.

1.3: Comparación de ambos modelos

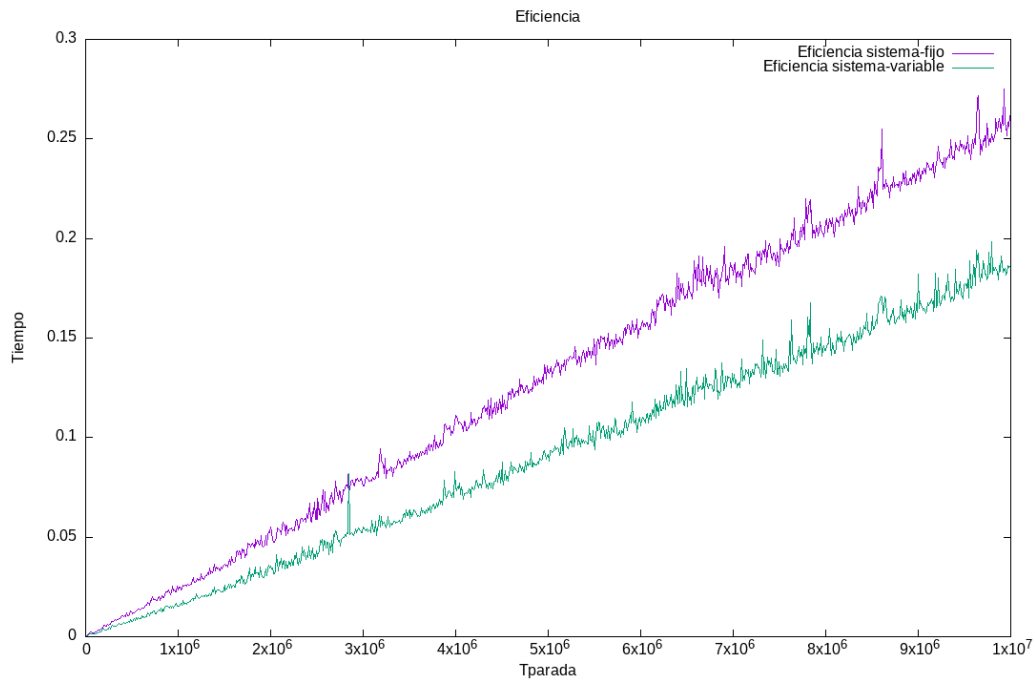
En este apartado se pide probar los modelos anteriores. Para la prueba se han elegido dos configuraciones:

- `trepas` = 2 y `tfallo` = 1. (Configuración A)
- `trepas` = 1 y `tfallo` = 2. (Configuración B)

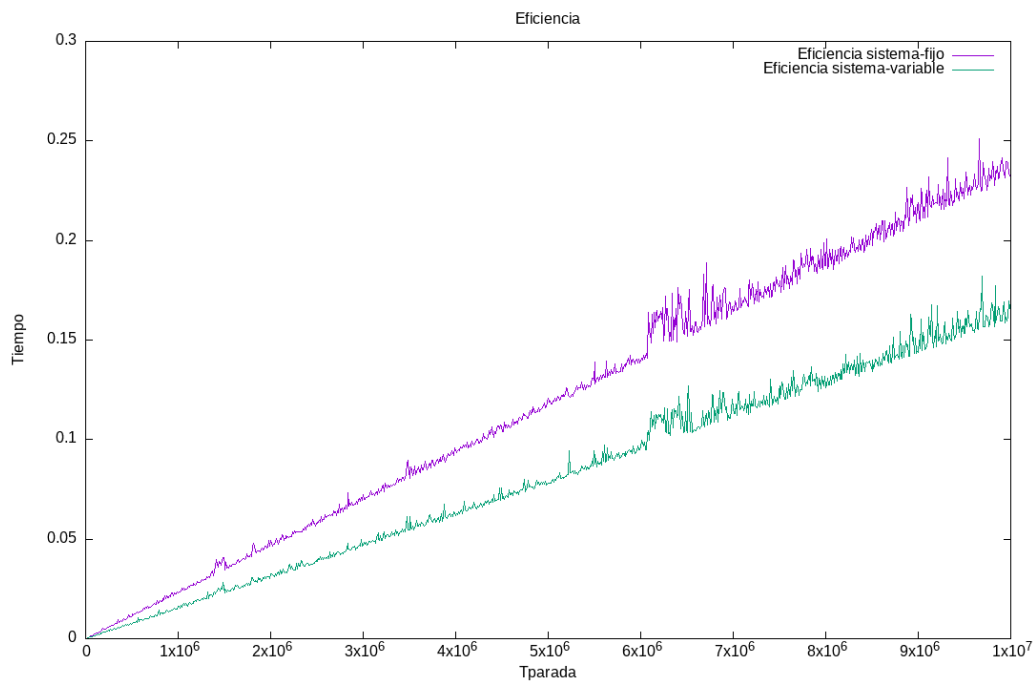
1.3.1: Eficiencia de los modelos

Para comparar la eficiencia de los modelos, se han ejecutado sin repuestos para ambas configuraciones con `tprada` = [100,10000000] y una sola ejecución interna del modelo.

En la siguiente figura podemos apreciar los resultados obtenidos:



(a) Configuración A



(b) Configuración B

Figura 1.1: Eficiencia de los modelos

Podemos apreciar que para ambas configuraciones el modelo de incremento variable es más eficiente que el de incremento fijo, cosa que tiene sentido, ya que el modelo de incremento variable realiza menos operaciones que el modelo de incremento fijo.

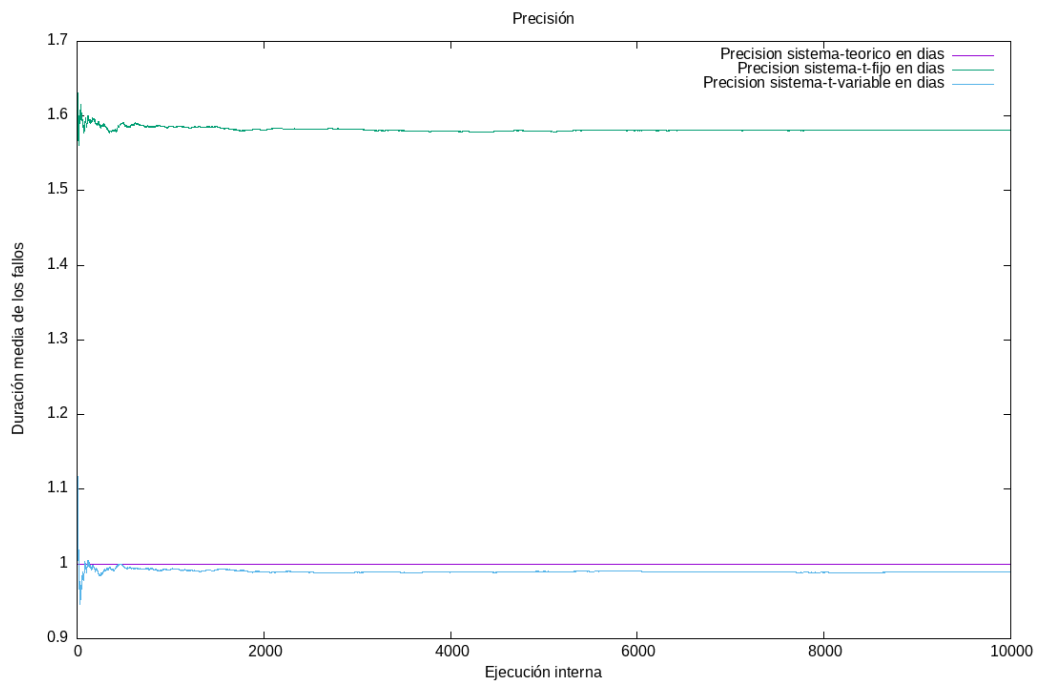
1.3.2: Precisión de los modelos

Para comparar la precisión de los modelos se ha calculado los resultados teóricos que deberían aportar ambos modelos. El cálculo se ha realizado de la siguiente manera:

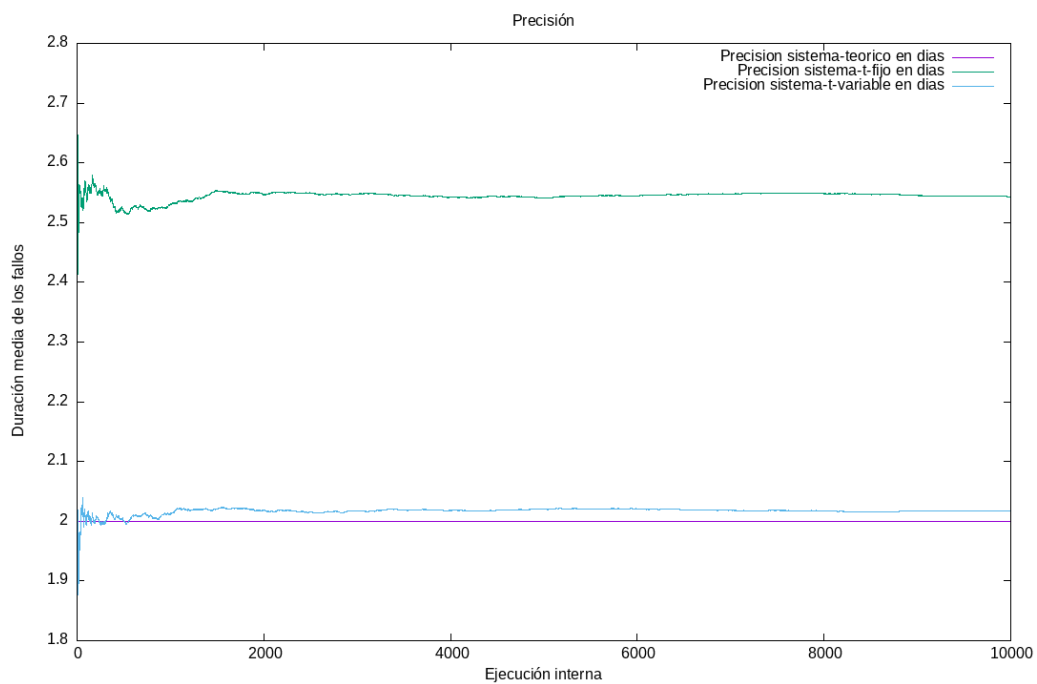
- $Dur_fallos = \frac{t_{repar}}{t_{fallo} + t_{repar}} t_{parada}$
- $Num_fallos = \frac{t_{parada}}{t_{fallo} + t_{repar}}$
- $Duración\ media\ de\ los\ fallos = \frac{Dur_fallos}{Num_fallos}$

Para obtener unos datos más fiables, se han modificado los modelos para permitir realizar mas de una ejecución interna de los mismos. El modelo devuelve los datos medios obtenidos de todas las ejecuciones internas. De esta manera podemos ver como convergen los datos obtenidos según aumenta el número de ejecuciones realizadas.

Se ha realizado esta prueba de precisión para los modelos utilizando unidades en días, horas, minutos y segundos. Además se ha realizado la prueba para las configuraciones A y B descritas anteriormente.



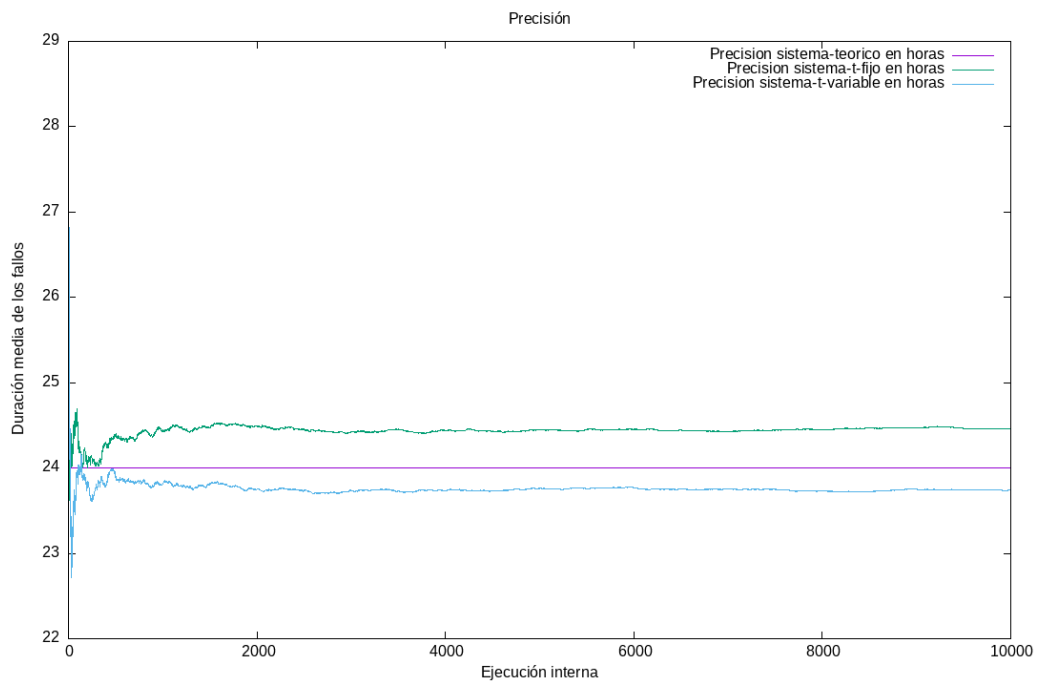
(a) Configuración A



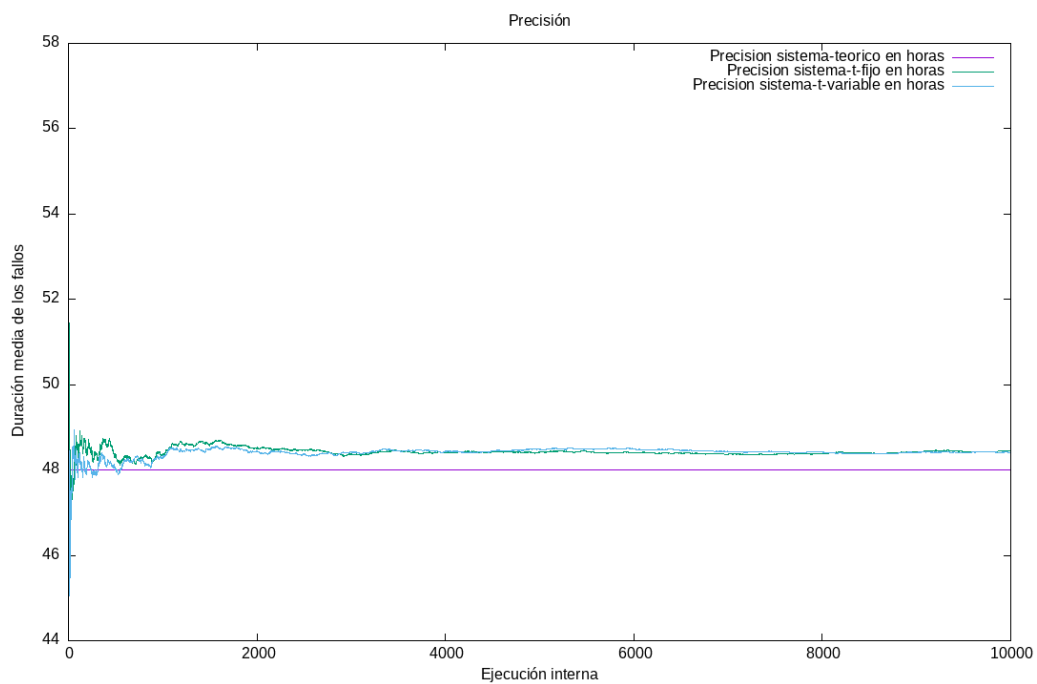
(b) Configuración B

Figura 1.2: Precisión en días

Utilizando unidades en días podemos apreciar la superioridad que presenta el modelo de incremento variable frente al de incremento fijo, ya que el modelo de incremento variable es capaz de operar con datos decimales lo que le proporciona una precisión muy superior al de incremento fijo, que no puede operar con decimales.



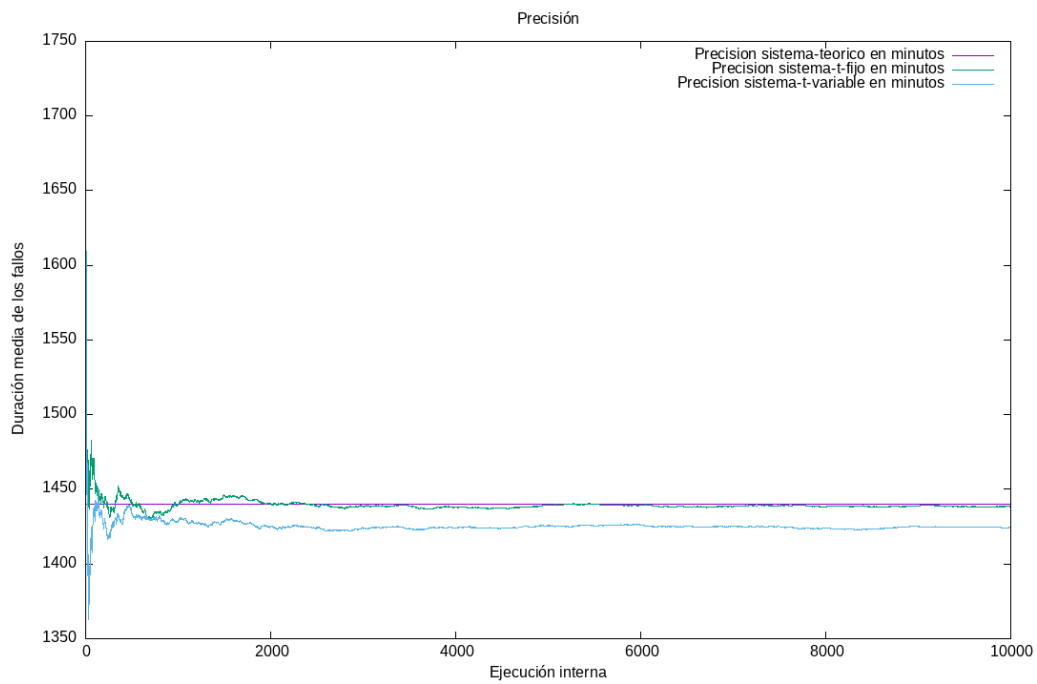
(a) Configuración A



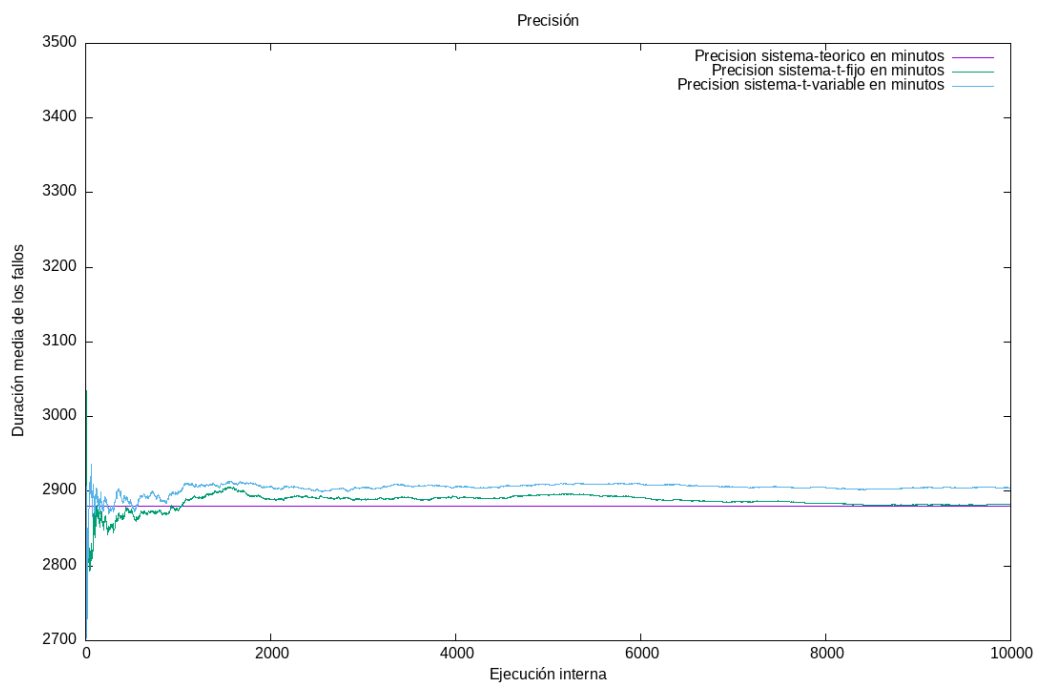
(b) Configuración B

Figura 1.3: Precisión en horas

Cuando pasamos las unidades a horas vemos como esta diferencia se reduce enormemente, llegando ambos modelos a casi solaparse para la configuración B. Sin embargo para la configuración A vemos como el modelo de incremento variable sigue siendo superior.



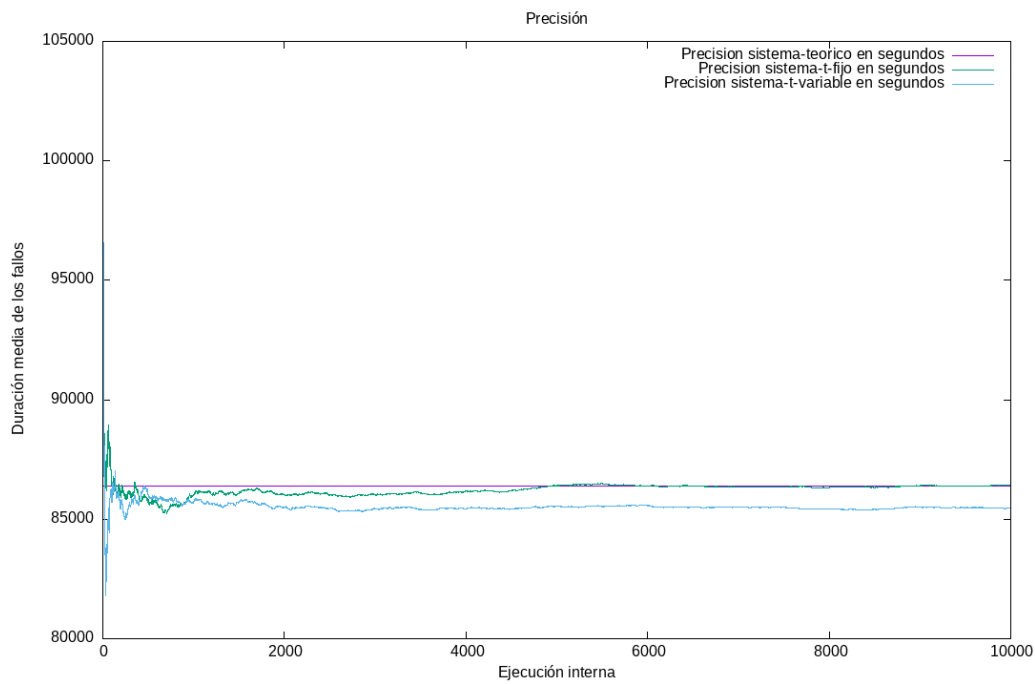
(a) Configuración A



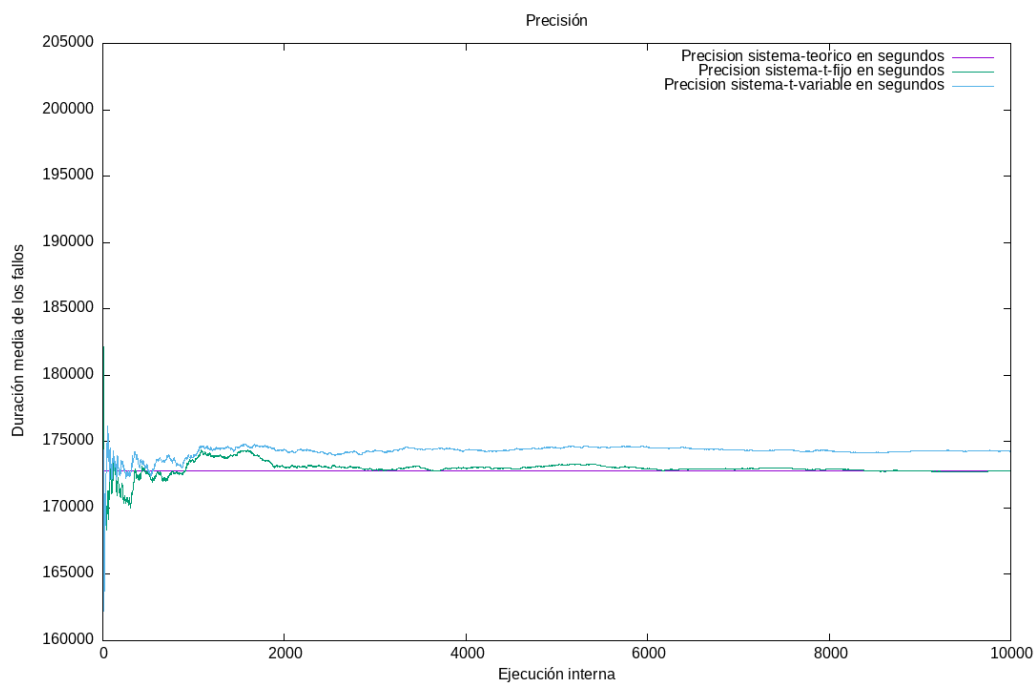
(b) Configuración B

Figura 1.4: Precisión en minutos

Convertir las unidades a minutos beneficia enormemente al modelo de incremento fijo, ya que el modelo de incremento variable no se ve afectado por el cambio de unidades. Usar unidades más pequeñas permite subsanar en gran medida los errores de precisión que comete el modelo de incremento fijo para unidades grandes, ya que le permite usar números con más cifras y superar la capacidad del modelo de incremento variable de trabajar con decimales.



(a) Configuración A



(b) Configuración B

Figura 1.5: Precisión en segundos

Para las unidades en segundos, vemos que ningún modelo gana más precisión.

Como conclusión podemos establecer que el modelo de incremento variable es independiente de las unidades, ya que no contiene un reloj interno, si no que simplemente salta entre los distintos eventos, mientras que el modelo de incremento fijo, al si contar con dicho reloj, se ve muy beneficiado cuando más grandes sean las unidades en las que se mide el reloj.

1.4: Comparación del modelo con diferentes parámetros

Este apartado pide investigar la diferencia entre:

- un sistema con m reparadores y **trepar** = x días. (Sistema A)
- un sistema con 1 reparador ($m = 1$) y **trepar** = $\frac{x}{m}$ días. (Sistema B)
- un sistema con $m = \frac{m}{2}$ reparadores y **trepar** = $\frac{x}{2}$ días. (Sistema C)

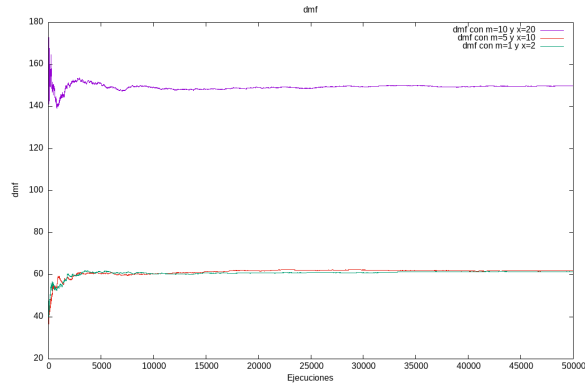
Para ello hemos ejecutado el simulador 50000 veces para cada sistema, obteniendo los valores medios de las ejecuciones. Esto puede verse en la figura 1.6 que se muestra más adelante.

Los valores elegidos para las simulaciones han sido $m = 10$, $x = 20$, totalMaq = 10, maqRepuesto = 5, **tfallo** = 10, **tparada** = 365 y 10000 ejecuciones internas de la simulación.

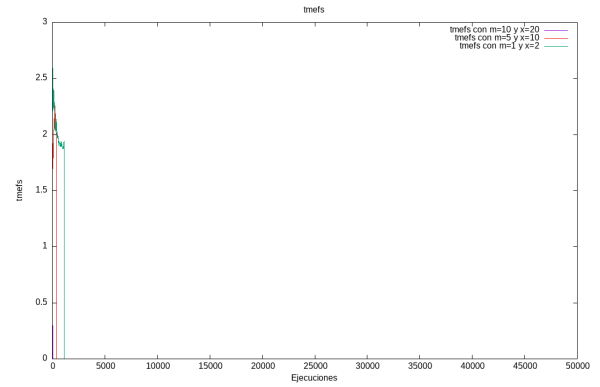
Comentaré los resultados en función de cada medida de rendimiento:

- Duración media de los fallos (**DMF**): Vemos como el sistema A tiene el doble de DMF que los sistemas B y C.
- Tiempo medio entre fallos del sistema (**TMEFS**): El TMEFS desciende hasta 0 para los tres sistemas de forma muy abrupta, por lo que no resulta una buena medida para establecer una comparación.
- Número medio de máquinas en reparación (**NMMR**): Vemos que para el NMMR no existe una gran diferencia entre los tres sistemas, aunque si podemos ver que hay una diferencia similar a la que hay para la DMF. Los sistemas B y C son bastante similares, mientras que el sistema A tiene un valor superior de NMMR.
- Porcentaje de ocio de los trabajadores (**TOR**): Mismo caso cuando se trata del TOR. El sistema A obtiene valores superiores a los del B y C mientras que estos obtienen valores cercanos entre si.
- Porcentaje de duración total de los fallos (**DTF**): No debería sorprender a nadie, que el DTF sigue la misma tendencia que las medidas de rendimiento anteriores.

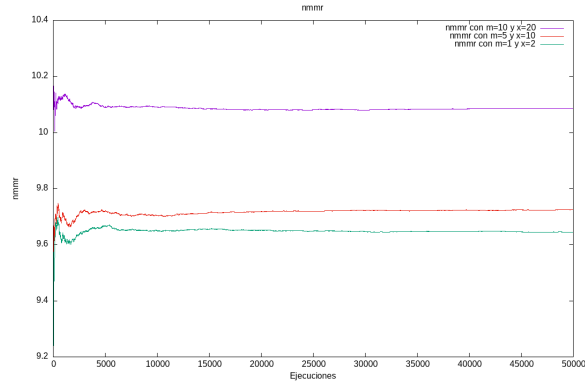
Por todo esto podemos establecer que el sistema A no es equivalente ni al sistema B ni al C, mientras que estos dos últimos si que podrían considerarse muy similares.



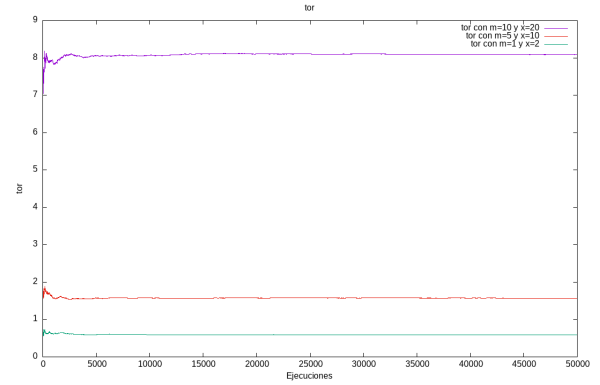
(a) Duración media de los fallos



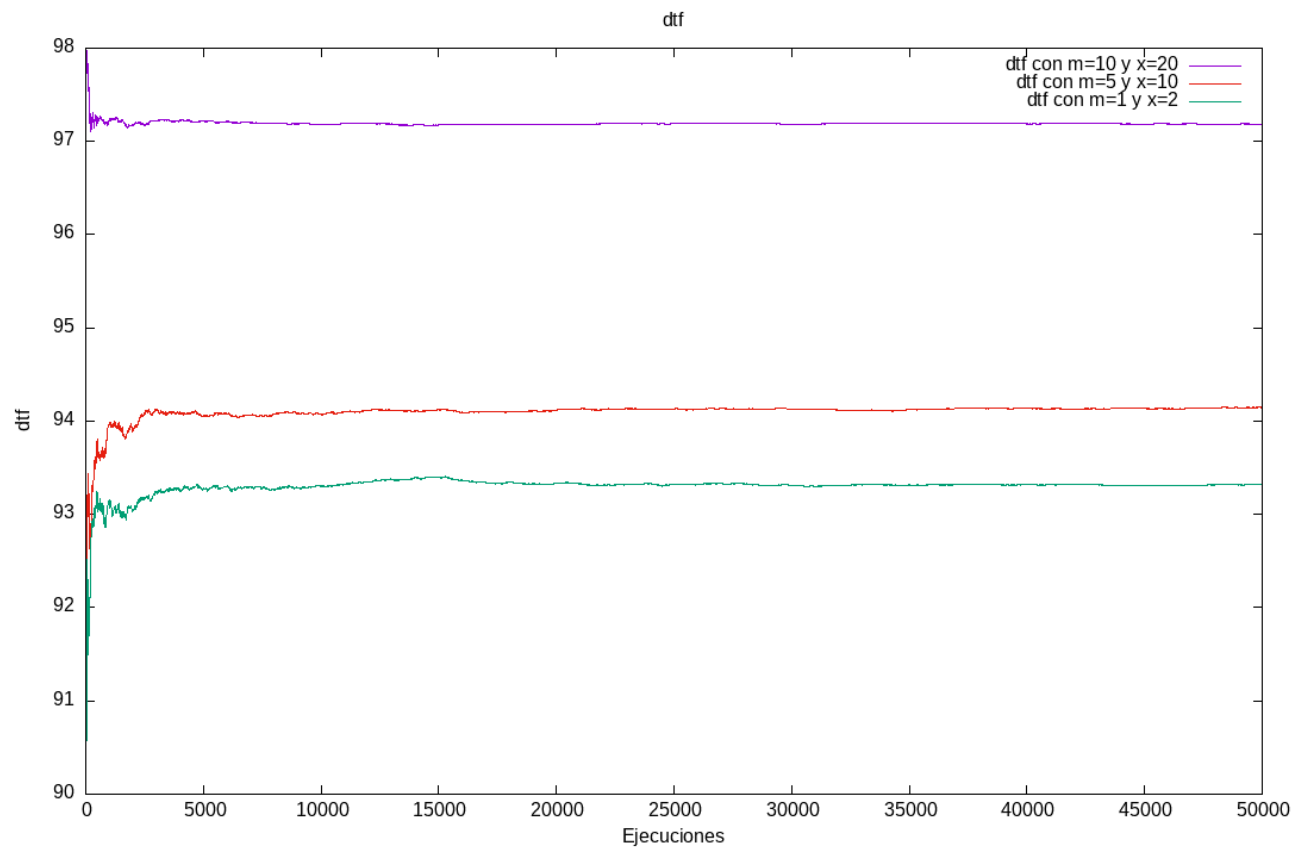
(b) Tiempo medio entre fallos del sistema



(c) Número medio de máquinas en reparación



(d) Porcentaje de tiempo de ocio de los trabajadores



(e) Porcentaje de duración total de los fallos

Figura 1.6: Comparación del modelo con diferentes parámetros

1.5: Configuración óptima del modelo

Para encontrar los valores óptimos de m y s he implemento una sencilla búsqueda local (BL). Esta BL parte del punto $m = 1$ y $s = 1$ y aleatoriamente aumenta el valor de m o s hasta que encuentra una configuración para la que la simulación aporte un **DTF** inferior al 10 %.

Los resultados obtenidos por esta BL son:

m	s	DTF
7	9	8.859598
7	9	8.859598
8	8	8.734942
9	8	7.629614
6	12	9.031083
6	12	9.031083
9	8	7.654179
7	11	4.708119
9	8	7.386688
9	8	7.386688
media	7,7	9,3

Por tanto los valores óptimos son $m = 7.7$ y $s = 9.3$

1.6: Modificación al modelo original

El código que adapta el nuevo grafo de sucesos original se encuentra disponible en `src/reparadores_mantenimiento.cpp`.

1.7: Configuración óptima del nuevo modelo

Igual que en el apartado anterior, para el modelo modificado se ha realizado el mismo proceso de BL.

m	s	DTF
7	8	8.890568
7	8	8.890568
9	7	9.921217
9	7	9.965062
7	9	6.038984
10	7	9.866929
9	7	9.664355
9	7	9.664355
9	7	9.970577
8	8	6.446058
media	8,4	7,5

Podemos ver como de media el número de reparadores aumenta ligeramente mientras que el número de repuestos descende, por lo que el sistema modificado mejora al sistema original en cuanto al uso de recursos.

Apartado 2:

Mi Tercer Modelo de Simulación Discreto

2.1: Modificaciones al sistema

El código que contiene las modificaciones al sistema se encuentra disponible en `src/puerto.cpp`.

Para la modificación del remolcador al que no le afectan las tormentas, se ha optado por eliminar el primer suceso *comienzo de tormenta* de manera que no se produzcan tormentas en el sistema.

2.2: Comparativa de las modificaciones

Tal y como se pide, se ha llamado una nueva medida de rendimiento llamada **Carga total**. Esta medida simplemente se calcula sumando el valor de carga correspondiente a cada tipo de carguero a una variable cada vez que sucede un evento *fin de ataque*.

Los resultados obtenidos han sido obtenidos para 10000 simulaciones del modelo:

Modificación	Media	Dt
Original	1.788.112,13	32.264,37
4 puntos de ataque	1.790.571,88	32.579,02
5 puntos de ataque	1.790.525,50	32.605,38
Remolcador al que no afectan las tormentas	1.788.556,88	32.181,05
Remolcador más rápido	1.787.903,63	31.801,75

Podemos ver que según la carga total, la mejor modificación es la que consta de aumentar a 4 el número de puntos de ataque.

Apartado 3:

Análisis de Salidas y Experimentación

3.1: Comparación de modificaciones

3.1.1: Modelo A vs Modelo B

Resultados de la comparación con los Modelos A y B con 1 simulación
El Modelo A es preferible un 13 % de veces
El Modelo B es preferible un 87 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y B con 5 simulaciones
El Modelo A es preferible un 25 % de veces
El Modelo B es preferible un 75 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y B con 10 simulaciones
El Modelo A es preferible un 50 % de veces
El Modelo B es preferible un 50 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y B con 25 simulaciones
El Modelo A es preferible un 0 % de veces
El Modelo B es preferible un 100 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y B con 50 simulaciones
El Modelo A es preferible un 0 % de veces
El Modelo B es preferible un 100 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y B con 100 simulaciones
El Modelo A es preferible un 0 % de veces
El Modelo B es preferible un 100 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y B con 500 simulaciones
El Modelo A es preferible un 0 % de veces
El Modelo B es preferible un 100 % de veces

Podemos ver en este caso, como hay una clara victoria del modelo B contra el modelo A. Para un número bajo de simulaciones el modelo A se superpone alguna vez al modelo B, pero según aumenta el número de simulaciones, vemos como el modelo B obtiene el 100 % de preferencia respecto al modelo A.

3.1.2: Modelo A vs Modelo C

Resultados de la comparación con los Modelos A y C con 1 simulación
El Modelo A es preferible un 86 % de veces
El Modelo C es preferible un 14 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y C con 5 simulaciones
El Modelo A es preferible un 57 % de veces
El Modelo C es preferible un 43 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y C con 10 simulaciones
El Modelo A es preferible un 86 % de veces
El Modelo C es preferible un 14 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y C con 25 simulaciones
El Modelo A es preferible un 40 % de veces
El Modelo C es preferible un 60 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y C con 50 simulaciones
El Modelo A es preferible un 29 % de veces
El Modelo C es preferible un 71 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y C con 100 simulaciones
El Modelo A es preferible un 37 % de veces
El Modelo C es preferible un 63 % de veces
Resultados de la comparación con los Modelos A y C con 500 simulaciones
El Modelo A es preferible un 36 % de veces
El Modelo C es preferible un 64 % de veces

Para el modelo A y el modelo C, la diferencia no es tan grande. Los datos de preferencia varían para un número de simulaciones bajo, mientras que según aumentan las simulaciones, se establece la superioridad del modelo C respecto al modelo A.

Estos resultados son consecuentes, ya que tanto el modelo B como el C se tratan de mejoras del modelo A. Por tanto, podemos concluir que las modificaciones realizadas realmente mejoran al sistema original.

3.2: Comparación mediante intervalos de confianza

Las comparaciones entre ambos sistemas se hacen para una única simulación.

3.2.1: Modelo A vs Modelo B

Intervalos de confianza para Modelo A y Modelo B	
Media:	0,168427
Varianza:	0,492923
Intervalo:	[0.0518525, 0.285001]

Podemos ver que el 0 no se encuentra dentro del intervalo de confianza, por lo que podemos concluir que existe una gran diferencia entre los sistemas. Además como la diferencia de las medias es positiva, podemos asegurar con un 95 % de confianza que el Modelo B mejora al Modelo A.

3.2.2: Modelo A vs Modelo C

Intervalos de confianza para Modelo A y Modelo C	
Media	0,0135193
Varianza	0,4531300
Intervalo	[-0.0982504, 0.125289]

En este caso el 0 se encuentra presente en el intervalo, por lo que no podemos asegurar si el modelo C mejora al modelo A (cosa que sabemos que si hace por el apartado anterior), por tanto sería necesario aumentar el número de simulaciones del sistema para intentar excluir al 0 del intervalo de confianza.