



UNIVERSIDAD DE GRANADA

SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Práctica 1

Alejandro Manzanares Lemus

alexmznlms@correo.ugr.es

22 de octubre de 2020

Índice general

| | |
|---|-----------|
| 1. Simulador de aparcamiento | 2 |
| 1.1. Múltiples ejecuciones | 2 |
| 1.2. Variación de un parámetro | 4 |
| 1.3. Variación de varios parámetros | 10 |
| 2. Simulador de radares | 12 |
| 2.1. Variación del número de ejecuciones | 12 |
| 2.2. Variación de las propiedades de los repuesto | 17 |
| 3. Simulador dos especies de peces | 19 |
| 3.1. Búsqueda del equilibrio | 19 |
| 3.2. Campaña de pesca | 22 |

Apartado 1:

Simulador de aparcamiento

El simulador de aparcamiento consiste en un sistema que simula un conductor que debe aparcar su coche en una calle infinitamente larga lo mas cerca posible de una posición objetivo. Para todas las pruebas realizadas se ha considerado 100 como posición objetivo en la que se desea aparcar. Para simular este sistema, podemos establecer la probabilidad de que el conductor encuentre la plaza ocupada, así como la distancia de visión que posee y el número de simulaciones que se realizan.

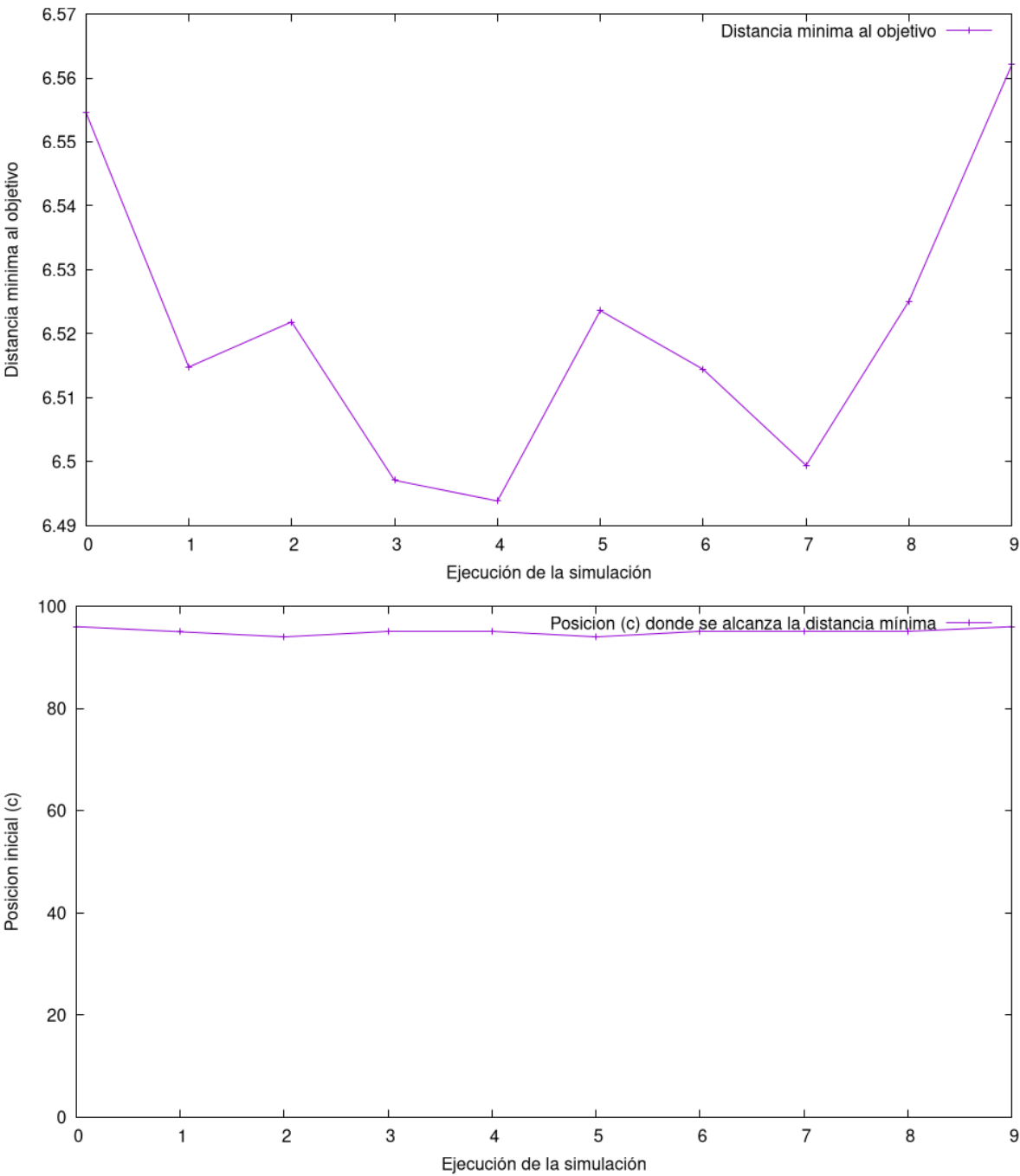
1.1: Múltiples ejecuciones

En la primera prueba, ejecutamos el simulador un total de 10 veces, para comprobar los resultados obtenidos. Podemos ver en la siguiente tabla la distancia mínima a la posición objetivo —recordemos que esta posición es la número 100— así como la posición a partir de la cual empezó a buscar aparcamiento. Para cada iteración del simulador se han realizado 100000 simulaciones.

| Iteración de la simulación | Distancia mínima al objetivo | Posición inicial (c) |
|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 0 | 6.554650 | 96 |
| 1 | 6.514790 | 95 |
| 2 | 6.521850 | 94 |
| 3 | 6.497070 | 95 |
| 4 | 6.493840 | 95 |
| 5 | 6.523610 | 94 |
| 6 | 6.514420 | 95 |
| 7 | 6.499410 | 95 |
| 8 | 6.525110 | 95 |
| 9 | 6.562060 | 96 |

También podemos ver estos resultados en forma de gráfica a continuación.

Como se puede apreciar, los resultados no varían demasiado entre una simulación y otra, ya que no estamos alterando ninguna variable del sistema, simplemente estamos ejecutando la misma simulación de forma reiterada.



1.2: Variación de un parámetro

Esta prueba si que tiene algo más de interés, a continuación realizaremos una serie de ejecuciones del simulador variando un solo parámetro cada vez. Por defecto, los parámetros son 100000 simulaciones, 0.9 probabilidad de ocupación de la plaza y 2 unidades de visión para el conductor.

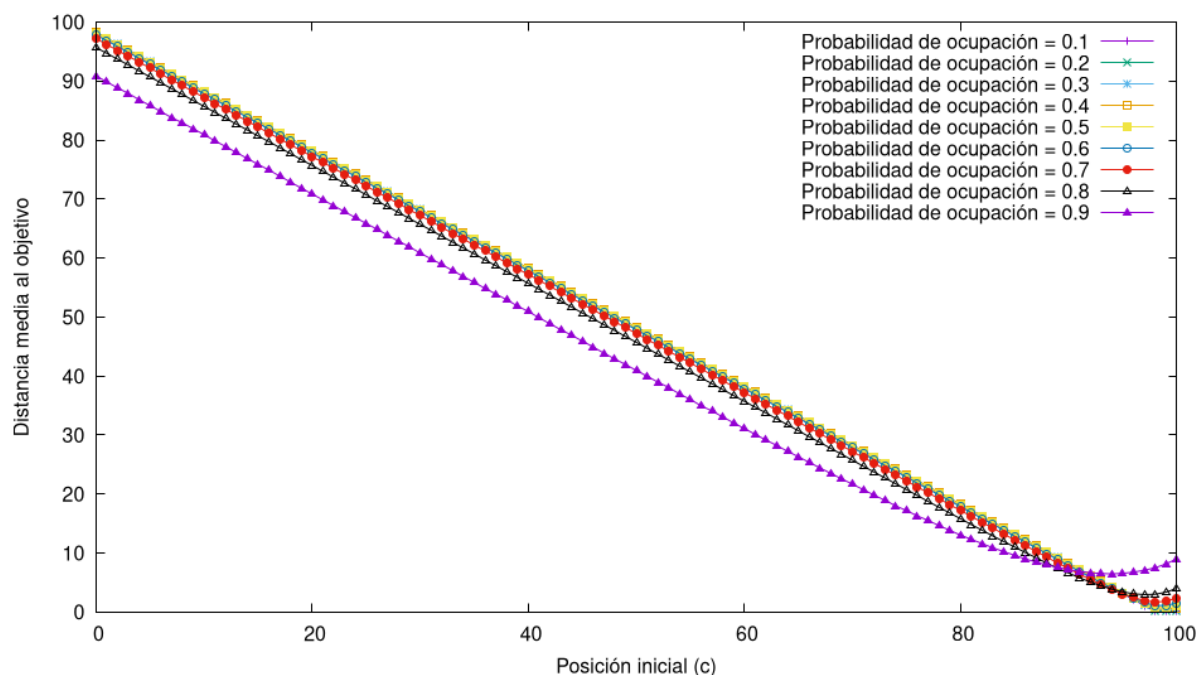
Primeramente realizamos la prueba variando el parámetro de la probabilidad de que el conductor encuentre ocupada la plaza en la que intentará aparcar.

En la siguiente tabla podemos ver la distancia mínima encontrada para los diferentes valores de esta probabilidad así como la posición inicial a partir de la cual se obtiene esta distancia.

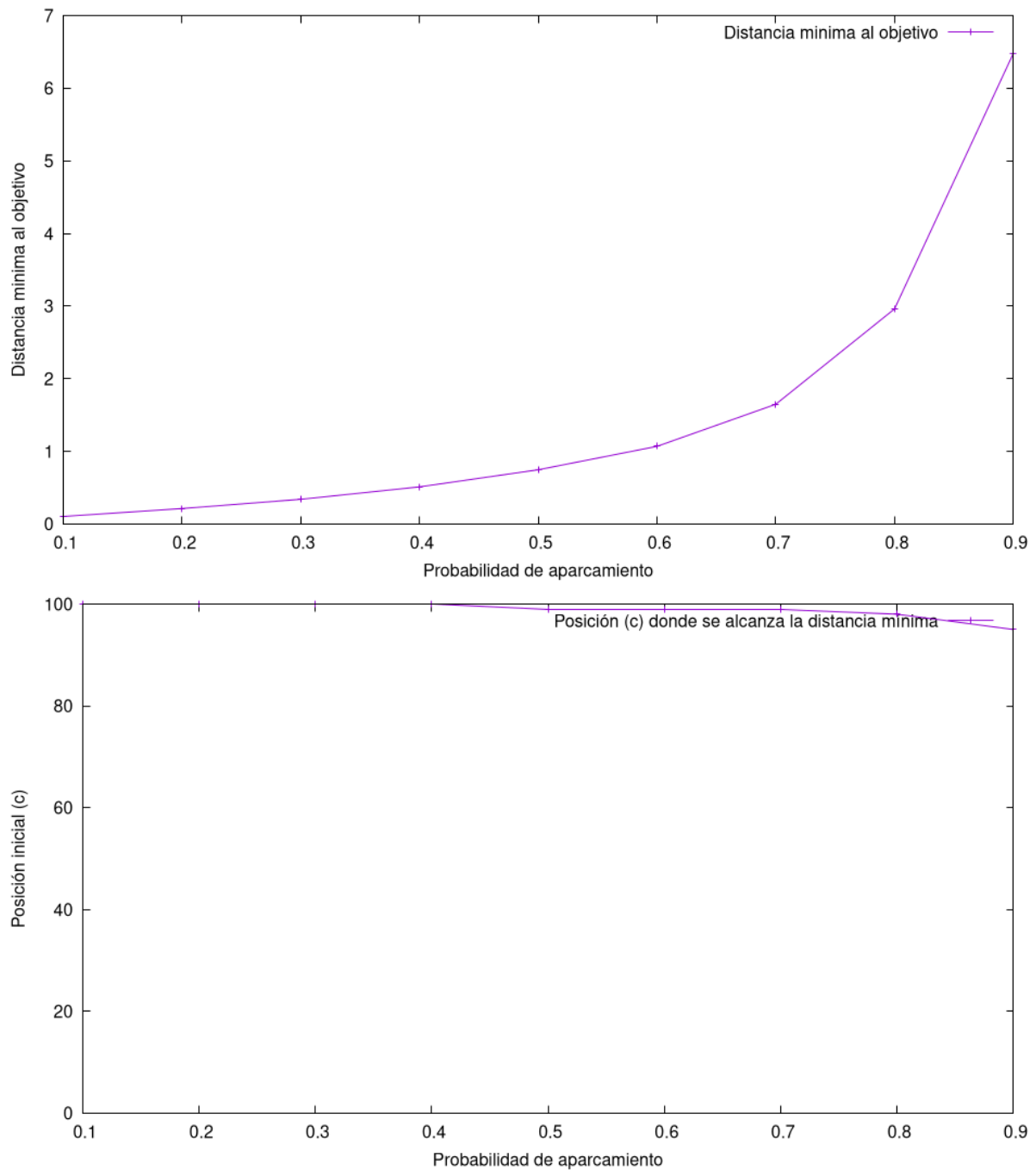
| Probabilidad de ocupación | Distancia mínima al objetivo | Posición inicial (c) |
|---------------------------|------------------------------|----------------------|
| 0.1 | 0.101910 | 100 |
| 0.2 | 0.210680 | 100 |
| 0.3 | 0.338430 | 100 |
| 0.4 | 0.509750 | 100 |
| 0.5 | 0.744920 | 99 |
| 0.6 | 1.067510 | 99 |
| 0.7 | 1.647840 | 99 |
| 0.8 | 2.960300 | 98 |
| 0.9 | 6.478240 | 95 |

Para una probabilidad inferior al 50 %, podemos observar como la mejor distancia se obtiene empezando a buscar aparcamiento justo cuando alcanzamos la posición objetivo, mientras que cuando la probabilidad aumenta, debemos ser mas precavidos y empezar a buscar plaza antes de llegar a nuestro objetivo.

En la gráfica siguiente se puede observar como para los distintos valores de probabilidad, cuanto antes se empieza a buscar aparcamiento, más lejos se aparca del objetivo, mientras que cuanto mas esperamos a empezar a buscar, mejor resultado se obtiene, excepto cuando la probabilidad pasa el 50 %. En este caso, podemos ver como al curva es ascendente en su ultimo tramo, lo que significa que el resultado empeora si esperamos demasiado.



En las siguientes gráficas, podemos ver de manera visual, como según aumenta la probabilidad de encontrar la plaza ocupada, aumenta la distancia mínima encontrada y disminuye la posición inicial a partir de la cual empezar a buscar aparcamiento.



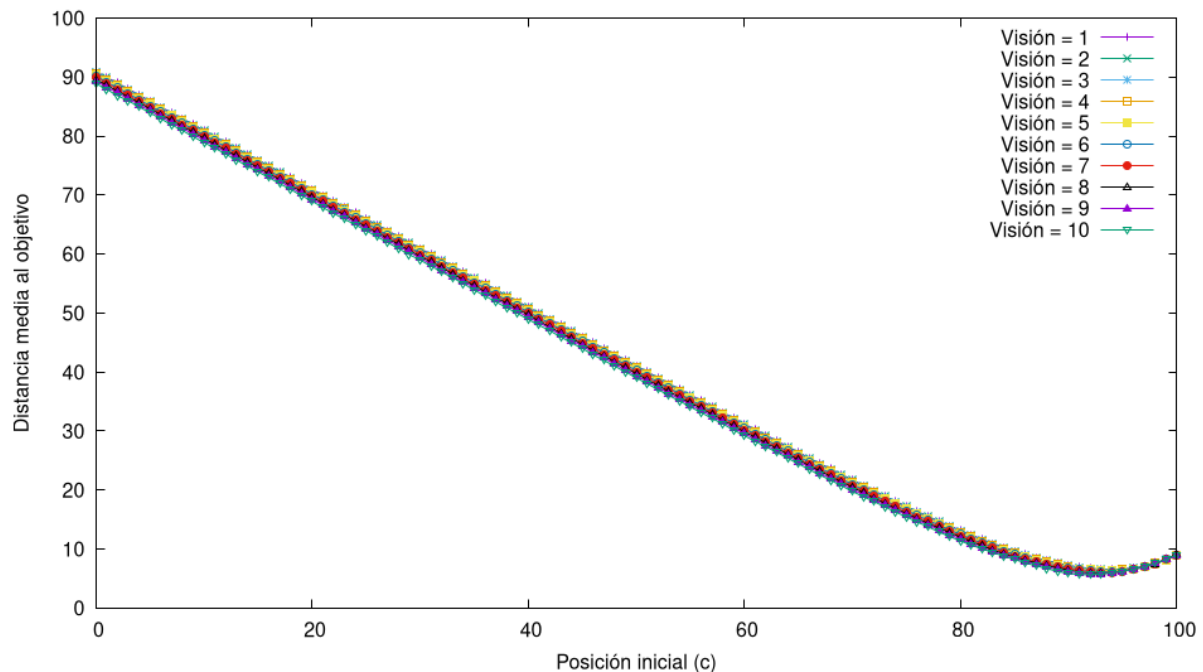
El siguiente parámetro que variamos, es la distancia de visión del conductor. En la siguiente tabla podemos ver los resultados obtenidos para esta prueba.

| Visión del conducto | Distancia mínima al objetivo | Posición inicial (c) |
|---------------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | 6.567060 | 94 |
| 2 | 6.509090 | 94 |
| 3 | 6.447840 | 95 |
| 4 | 6.389330 | 95 |
| 5 | 6.251710 | 95 |
| 6 | 6.145040 | 95 |
| 7 | 5.937980 | 94 |
| 8 | 5.849080 | 94 |
| 9 | 5.752370 | 93 |
| 10 | 5.647370 | 93 |

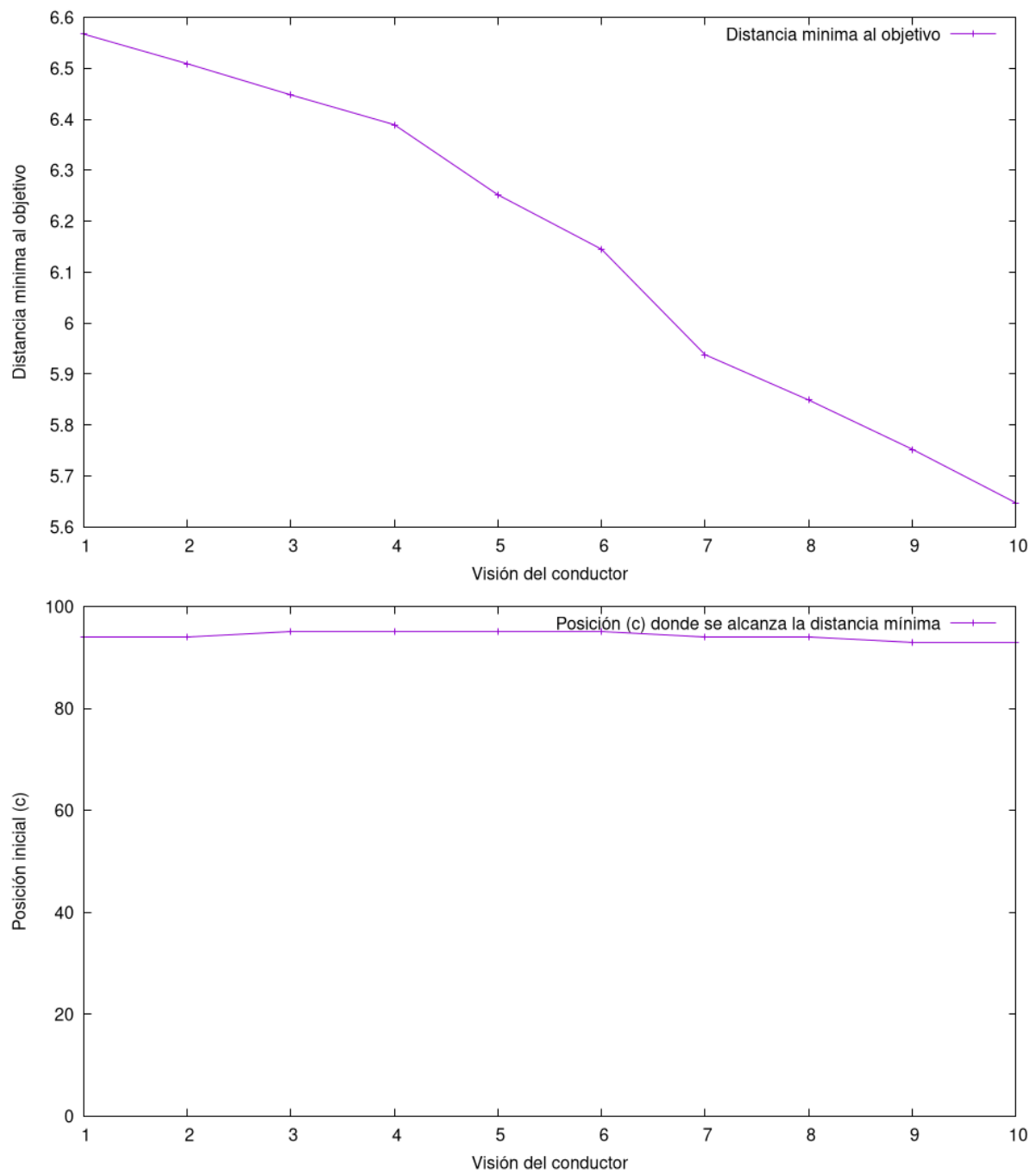
Podemos ver en este caso, que según aumenta la distancia de visión del conductor, disminuye la distancia a la que conseguimos aparcar de la posición objetivo, pero también disminuye la posición inicial a partir de la cual debemos empezar a buscar, es decir, debemos empezar a buscar aparcamiento con más antelación.

En la siguiente gráfica, se muestra la relación entre distancia mínima al objetivo y la posición inicial a partir de la cual se empieza a buscar aparcamiento.

Se puede notar como para los diferentes valores de la visión del conductor, los resultados son bastante homogéneos, siendo que las gráficas casi parecen una sola.



A continuación se puede notar gráficamente como al aumentar la visión del conductor, la distancia mínima al objetivo se reduce, mientras que la posición inicial aumenta en un principio pero disminuye finalmente.

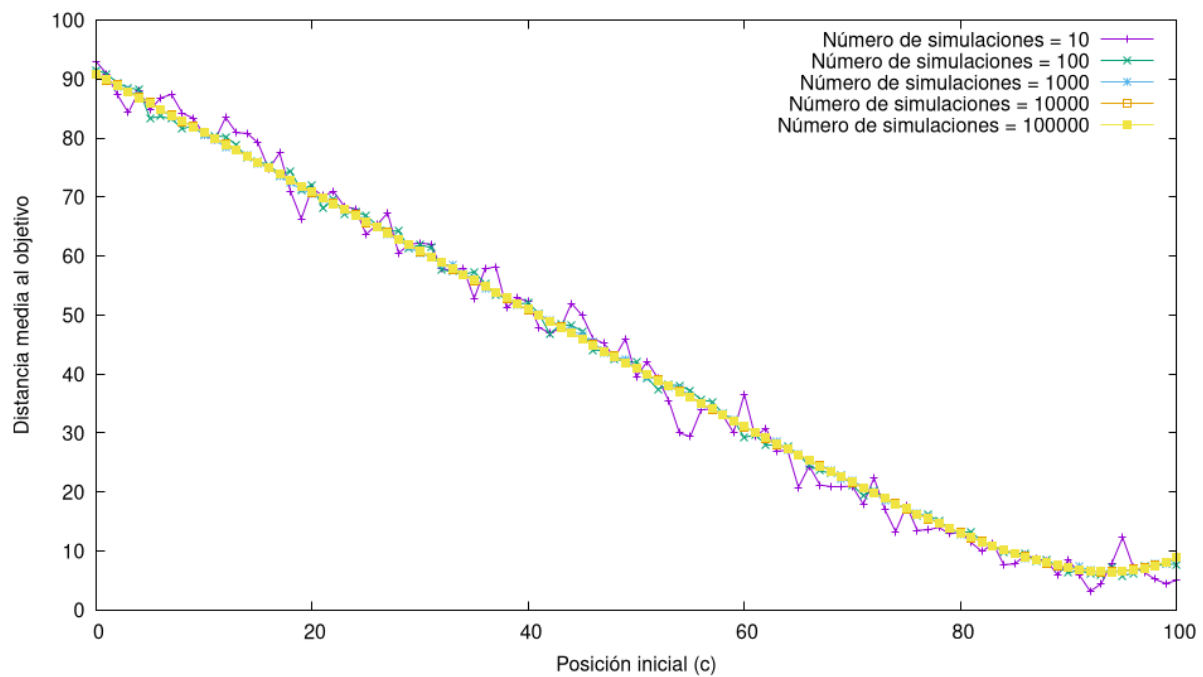


Finalmente, el último parámetro que modificaremos será el número de simulaciones de aparcamiento que se realizan por cada ejecución del simulador.

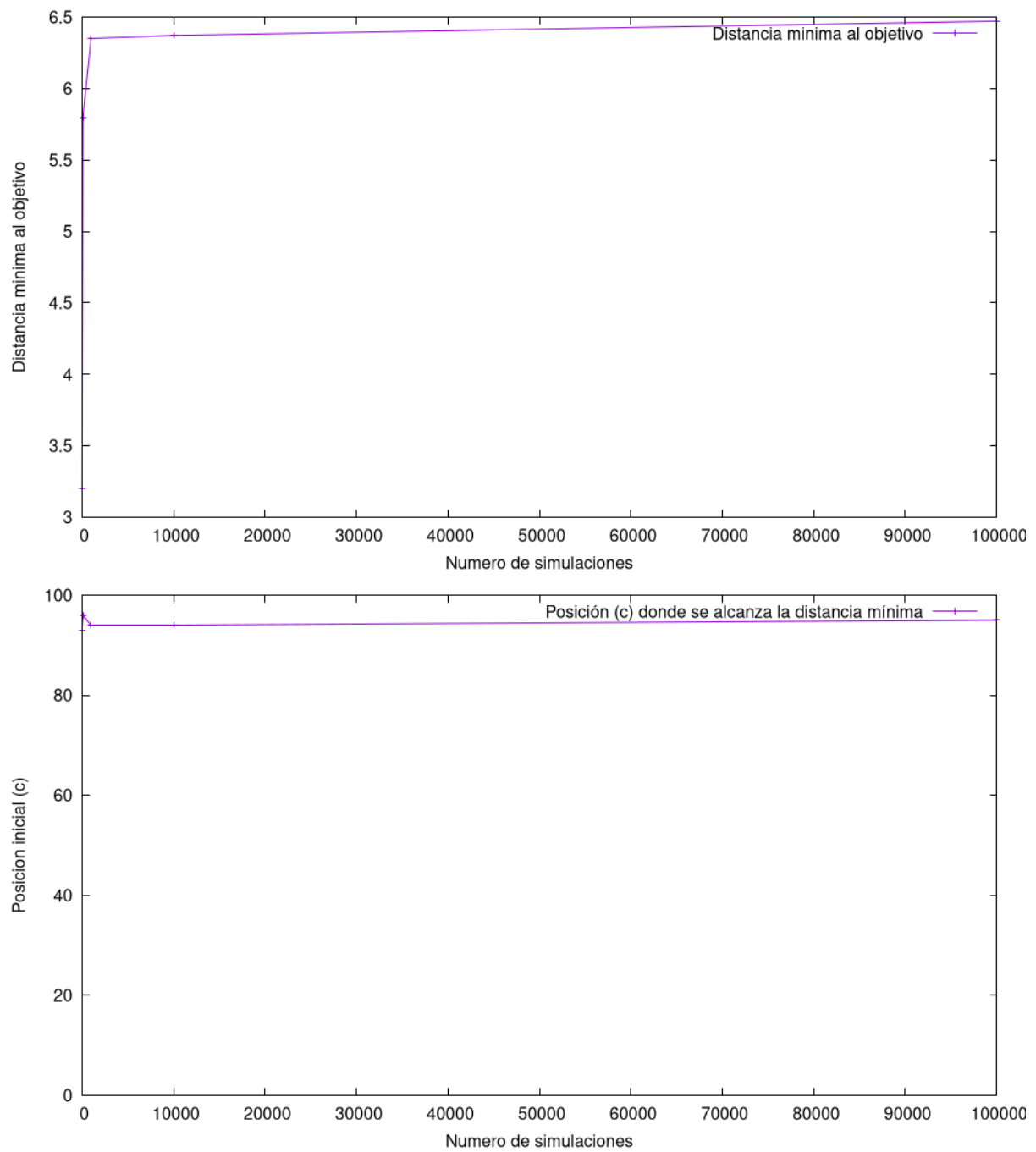
Igual que en los casos anteriores, en la siguiente tabla podemos apreciar los distintos valores que se han probado, así como la distancia mínima al objetivo encontrada y la posición inicial a partir de la cual se obtiene plaza a dicha distancia.

| número de simulaciones | Distancia mínima al objetivo | Posición inicial (c) |
|------------------------|------------------------------|----------------------|
| 10 | 3.200000 | 93 |
| 100 | 5.800000 | 96 |
| 1000 | 6.350000 | 94 |
| 10000 | 6.371000 | 94 |
| 100000 | 6.470920 | 95 |

De forma gráfica, podemos observar como, cuando el número de simulaciones es bajo, los resultados tienen un mayor número de altibajos, mientras que según aumenta el número de simulaciones, la gráfica se vuelve más continua y con menos saltos.



Como nota de interés, al igual que en los apartados anteriores se han generado las siguientes gráficas, donde podemos observar que según aumenta el número de simulaciones, los resultados convergen a un valor concreto.



1.3: Variación de varios parámetros

Finalmente, realizaremos un estudio del comportamiento del simulador cambiando más de un parámetro al mismo tiempo. Para esta memoria, se ha decidido mantener el número de simulaciones y variar la distancia de visión del conductor así como la probabilidad de ocupación de una plaza de aparcamiento.

En las siguientes tablas se reflejan los resultados obtenidos en distancia mínima y posición inicial para los valores que se han probado.

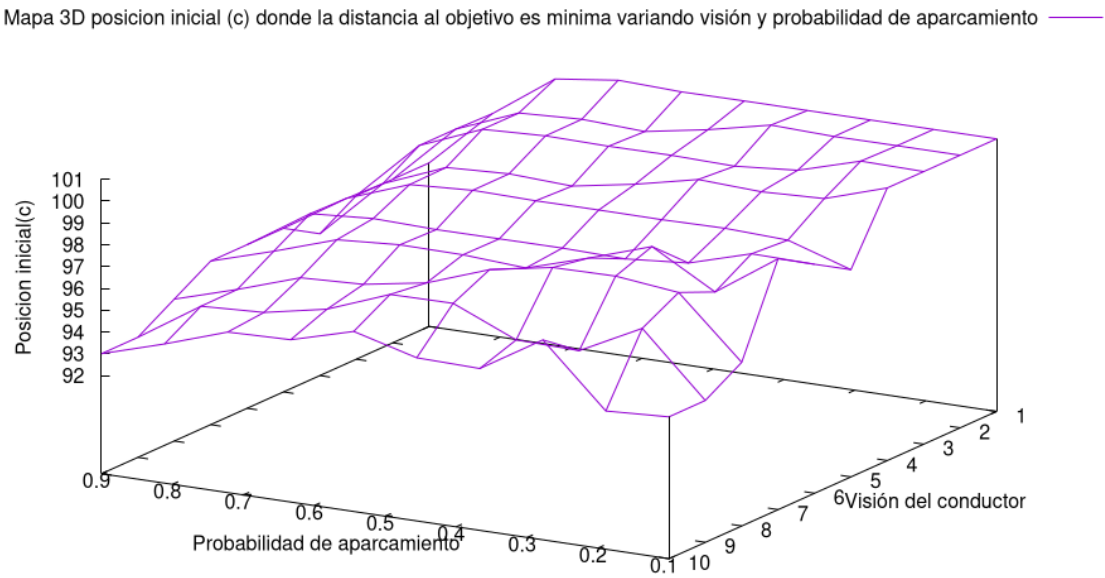
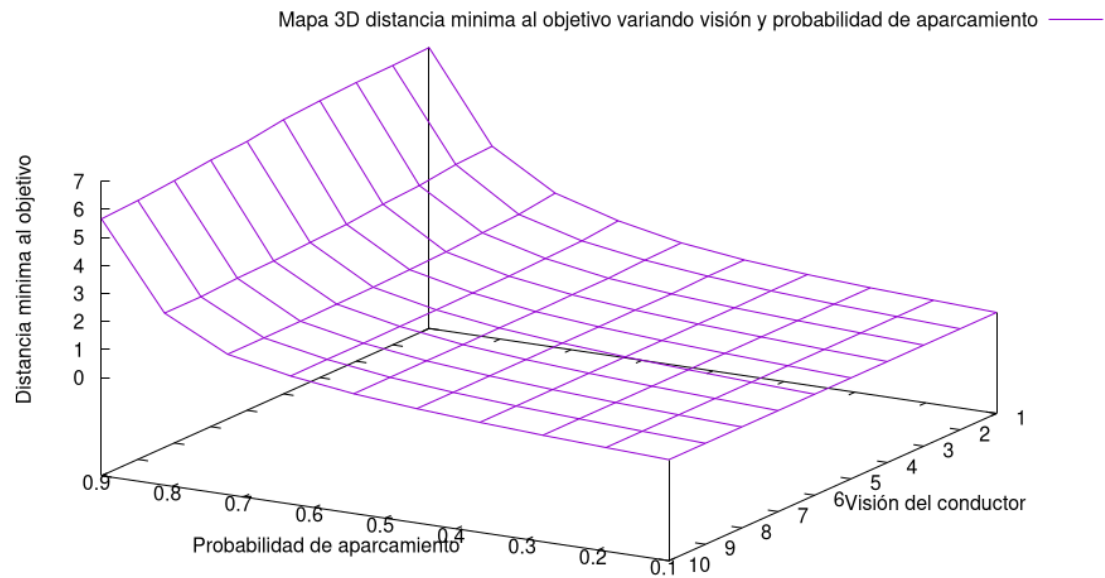
| | | Probabilidad de aparcamiento | | | | | | | | |
|----------------------|----|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| Vision del conductor | 1 | 0.099620 | 0.210710 | 0.338900 | 0.506900 | 0.748600 | 1.151790 | 1.839180 | 3.030380 | 6.517660 |
| | 2 | 0.100520 | 0.209580 | 0.338920 | 0.506960 | 0.746740 | 1.064400 | 1.649300 | 2.953630 | 6.460450 |
| | 3 | 0.100390 | 0.208980 | 0.331670 | 0.477110 | 0.687310 | 1.006920 | 1.602300 | 2.782350 | 6.437300 |
| | 4 | 0.099130 | 0.207590 | 0.333320 | 0.480670 | 0.689810 | 0.982970 | 1.512140 | 2.697540 | 6.371280 |
| | 5 | 0.099830 | 0.208420 | 0.330430 | 0.475570 | 0.670110 | 0.966900 | 1.480660 | 2.565040 | 6.277510 |
| | 6 | 0.100240 | 0.206780 | 0.328190 | 0.476200 | 0.672600 | 0.954690 | 1.437860 | 2.513240 | 6.085530 |
| | 7 | 0.099610 | 0.207000 | 0.326700 | 0.475310 | 0.664360 | 0.945820 | 1.427430 | 2.441490 | 6.001120 |
| | 8 | 0.099350 | 0.206130 | 0.325790 | 0.475920 | 0.668380 | 0.942190 | 1.396800 | 2.416840 | 5.853020 |
| | 9 | 0.098970 | 0.206130 | 0.328060 | 0.471570 | 0.664220 | 0.942370 | 1.400510 | 2.345610 | 5.729080 |
| | 10 | 0.099440 | 0.204730 | 0.327840 | 0.473750 | 0.666350 | 0.933790 | 1.395460 | 2.351450 | 5.656510 |

| | | Probabilidad de aparcamiento | | | | | | | | |
|----------------------|----|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| Vision del conductor | 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 95 |
| | 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99 | 99 | 98 | 95 |
| | 3 | 100 | 100 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 | 98 | 95 |
| | 4 | 100 | 99 | 99 | 99 | 98 | 98 | 98 | 97 | 94 |
| | 5 | 97 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 97 | 95 |
| | 6 | 98 | 98 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 95 |
| | 7 | 99 | 97 | 99 | 97 | 97 | 97 | 97 | 96 | 95 |
| | 8 | 95 | 98 | 98 | 98 | 97 | 96 | 96 | 95 | 94 |
| | 9 | 94 | 97 | 95 | 96 | 97 | 96 | 95 | 95 | 93 |
| | 10 | 94 | 94 | 97 | 94 | 96 | 95 | 95 | 94 | 93 |

Estos datos son útiles pero poco ilustrativos, por ello, para comprobar el comportamiento real del simulador, he generado los siguientes mapas 3D, donde puede apreciarse de manera gráfica el comportamiento de los resultados.

En el primer mapa, podemos ver que la variable que más afecta a los resultados es la probabilidad de ocupación de la plaza, siendo que según aumenta este valor, aumenta también la distancia mínima obtenida. Mientras que según varía la visión del conductor, el valor de la distancia mínima aumenta, pero no de manera tan marcada.

En el segundo mapa no apreciamos tan bien el comportamiento cuando hablamos de la posición inicial óptima a partir de la cual empezar a buscar aparcamiento. Si podemos ver, que a menos vista del conductor, menos anticipación debemos tener a la hora de buscar plaza, puesto que vemos menos. Según aumenta la probabilidad de ocupación de la plaza, aumenta también la anticipación que debemos tener.



Apartado 2:

Simulador de radares

El simulador de radares simula el funcionamiento de un número determinado de radares, que poseen una vida útil determinada — por defecto 20 días — y un tiempo de reparación determinado hasta que vuelven a estar operativos — de 15 a 30 días por defecto —. Intentaremos averiguar el número de repuestos necesarios para que el tiempo de desprotección parcial sea inferior al 1 %

2.1: Variación del número de ejecuciones

En primer lugar, probaremos a ejecutar el simulador bajo su configuración por defecto, variando el número de simulaciones que se realizan. A continuación mostramos los resultados obtenidos:

| Tabla generada para el simulador de radares con 1 simulación | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Num. repuestos | Num. simulaciones | Media fallos | Media t desprotección | Media % desprotección | Desv. num fallos | Desv. t desprotección | Desv % desprotección |
| 0 | 1 | 45 | 349.951 | 95.877 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 50 | 319.631 | 87.5701 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 53 | 304.679 | 83.4737 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 67 | 291.709 | 79.9203 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | 49 | 201.927 | 55.3224 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 31 | 104.231 | 28.5563 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 25 | 90.1675 | 24.7034 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 21 | 42.9977 | 11.7802 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 16 | 38.4443 | 10.5327 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 8 | 10.8468 | 2.97171 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 1 | 2.82288 | 0.773391 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Con una simulación podemos observar que el número de repuestos necesarios para que el tiempo de desprotección parcial no supere el 1 % es 10.

| Tabla generada para el simulador de radares con 5 simulaciones | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Num. repuestos | Num. simulaciones | Media fallos | Media t desprotección | Media % desprotección | Desv. num fallos | Desv. t desprotección | Desv % desprotección |
| 0 | 5 | 42 | 352.239 | 96.5038 | 3.60555 | 9.11129 | 2.4957 |
| 1 | 5 | 50 | 335.562 | 91.9348 | 6.44205 | 13.2647 | 3.63428 |
| 2 | 5 | 53.8 | 287.18 | 78.6795 | 4.65832 | 25.3226 | 6.93761 |
| 3 | 5 | 53.2 | 238.988 | 65.4762 | 5.54075 | 32.7864 | 8.98265 |
| 4 | 5 | 50 | 197.389 | 54.0793 | 10.3199 | 47.2767 | 12.9525 |
| 5 | 5 | 33.2 | 117.506 | 32.1935 | 6.22093 | 16.5225 | 4.52668 |
| 6 | 5 | 28.6 | 78.5825 | 21.5294 | 6.94982 | 26.0007 | 7.12348 |
| 7 | 5 | 20.4 | 57.108 | 15.646 | 5.54977 | 16.4936 | 4.5188 |
| 8 | 5 | 17.8 | 44.1643 | 12.0998 | 5.84808 | 12.0867 | 3.31144 |
| 9 | 5 | 7.4 | 14.9035 | 4.08316 | 3.91152 | 8.64149 | 2.36753 |
| 10 | 5 | 4.6 | 10.6241 | 2.91071 | 4.50555 | 9.50589 | 2.60435 |
| 11 | 5 | 2 | 4.51752 | 1.23768 | 2.12132 | 4.76625 | 1.30582 |
| 12 | 5 | 1.2 | 3.48875 | 0.955823 | 1.78885 | 5.9696 | 1.63551 |
| 13 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Para 5 simulaciones, podemos apreciar como el número mínimo de repuestos necesarios aumenta a 12.

| Tabla generada para el simulador de radares con 10 simulaciones | | | | | | | |
|---|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Num. repuestos | Num. simulaciones | Media fallos | Media t desprotección | Media % desprotección | Desv. num fallos | Desv. t desprotección | Desv % desprotección |
| 0 | 10 | 44.7 | 349.833 | 95.8447 | 2.86937 | 11.2503 | 3.08207 |
| 1 | 10 | 51.1 | 327.844 | 89.8203 | 3.66516 | 12.1404 | 3.32656 |
| 2 | 10 | 57.9 | 300.196 | 82.2454 | 4.01246 | 21.3681 | 5.8542 |
| 3 | 10 | 54.3 | 246.846 | 67.6289 | 5.12184 | 24.8807 | 6.81661 |
| 4 | 10 | 54.9 | 209.583 | 57.4199 | 11.5031 | 31.7491 | 8.69833 |
| 5 | 10 | 38.7 | 132.112 | 36.195 | 6.7173 | 30.2853 | 8.29734 |
| 6 | 10 | 32.1 | 92.83 | 25.4329 | 11.7232 | 30.7326 | 8.41989 |
| 7 | 10 | 21.5 | 50.8223 | 13.9239 | 10.2659 | 27.8845 | 7.6396 |
| 8 | 10 | 16.6 | 40.2062 | 11.0154 | 8.64356 | 19.9703 | 5.47132 |
| 9 | 10 | 8 | 17.2256 | 4.71935 | 3.74166 | 10.8646 | 2.97659 |
| 10 | 10 | 5.3 | 13.462 | 3.68821 | 3.653 | 11.2033 | 3.06939 |
| 11 | 10 | 3.5 | 7.81515 | 2.14114 | 2.71825 | 7.38965 | 2.02456 |
| 12 | 10 | 1 | 2.41587 | 0.661883 | 1.24722 | 3.10247 | 0.849992 |
| 13 | 10 | 0.4 | 0.572334 | 0.156804 | 0.699206 | 1.071 | 0.293425 |
| 14 | 10 | 0.2 | 0.414171 | 0.113471 | 0.632456 | 1.30972 | 0.358828 |
| 15 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Para 10 simulaciones, vemos que el número mínimo de repuestos es 12.

| Tabla generada para el simulador de radares con 50 simulaciones | | | | | | | |
|---|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| Num. repuestos | Num. simulaciones | Media fallos | Media t desprotección | Media % desprotección | Dev. num fallos | Dev. t desprotección | Dev % desprotección |
| 0 | 50 | 43.96 | 353.582 | 96.8718 | 3.19413 | 7.18843 | 1.97028 |
| 1 | 50 | 50.1 | 327.789 | 89.8053 | 3.94994 | 15.8941 | 4.3548 |
| 2 | 50 | 53.82 | 287.653 | 78.809 | 5.75588 | 23.1274 | 6.33634 |
| 3 | 50 | 53.52 | 241.971 | 66.2935 | 7.16067 | 26.2554 | 7.19317 |
| 4 | 50 | 48.8 | 185.36 | 50.7835 | 10.3214 | 34.2243 | 9.37641 |
| 5 | 50 | 40.66 | 136.93 | 37.5151 | 10.1088 | 33.439 | 9.16132 |
| 6 | 50 | 32.08 | 92.246 | 25.2729 | 9.57854 | 30.3834 | 8.32423 |
| 7 | 50 | 20.84 | 55.5177 | 15.2103 | 9.36202 | 24.514 | 6.71617 |
| 8 | 50 | 13.56 | 32.382 | 8.87178 | 7.74639 | 18.8165 | 5.1552 |
| 9 | 50 | 7.9 | 17.2093 | 4.71488 | 4.9208 | 11.604 | 3.17918 |
| 10 | 50 | 4.46 | 8.5308 | 2.33721 | 4.3669 | 8.89152 | 2.43603 |
| 11 | 50 | 1.94 | 3.31555 | 0.90837 | 3.11291 | 5.86852 | 1.60781 |
| 12 | 50 | 0.7 | 1.37498 | 0.376707 | 1.40335 | 2.83413 | 0.776473 |
| 13 | 50 | 0.32 | 0.411364 | 0.112703 | 0.890769 | 1.55438 | 0.425857 |
| 14 | 50 | 0.04 | 0.0598782 | 0.016405 | 0.282843 | 0.423403 | 0.116001 |
| 15 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Para 50 simulaciones el número mínimo se reduce a 11.

| Tabla generada para el simulador de radares con 100 simulaciones | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| Num. repuestos | Num. simulaciones | Media fallos | Media t desprotección | Media % desprotección | Dev. num fallos | Dev. t desprotección | Dev % desprotección |
| 0 | 100 | 44.23 | 352.931 | 96.6935 | 2.90197 | 7.8096 | 2.13881 |
| 1 | 100 | 50.06 | 327.452 | 89.7128 | 4.05473 | 15.6902 | 4.29859 |
| 2 | 100 | 53.96 | 289.779 | 79.3916 | 4.97249 | 21.7551 | 5.96041 |
| 3 | 100 | 53.3 | 240.962 | 66.017 | 6.75921 | 28.8235 | 7.89661 |
| 4 | 100 | 48.42 | 188.81 | 51.7287 | 7.93686 | 29.438 | 8.06512 |
| 5 | 100 | 40.32 | 135.199 | 37.0408 | 8.46846 | 29.1112 | 7.97563 |
| 6 | 100 | 31.17 | 91.8402 | 25.1617 | 9.0208 | 26.5919 | 7.28545 |
| 7 | 100 | 21.39 | 56.0191 | 15.3477 | 8.17349 | 20.9672 | 5.74444 |
| 8 | 100 | 13.62 | 31.757 | 8.70056 | 7.10496 | 16.7809 | 4.59749 |
| 9 | 100 | 7.05 | 15.3795 | 4.21357 | 5.29603 | 12.19 | 3.33973 |
| 10 | 100 | 3.64 | 7.21123 | 1.97568 | 4.06393 | 8.3311 | 2.28249 |
| 11 | 100 | 2.14 | 4.24927 | 1.16418 | 3.45248 | 6.85864 | 1.87908 |
| 12 | 100 | 0.85 | 1.55213 | 0.425242 | 1.83883 | 3.42524 | 0.938423 |
| 13 | 100 | 0.59 | 0.920676 | 0.25224 | 1.82073 | 2.9375 | 0.804793 |
| 14 | 100 | 0.28 | 0.415516 | 0.11384 | 1.07384 | 1.51682 | 0.415566 |
| 15 | 100 | 0.14 | 0.19732 | 0.0540603 | 0.651649 | 0.983849 | 0.269548 |
| 16 | 100 | 0.07 | 0.103657 | 0.0283992 | 0.408372 | 0.618308 | 0.169399 |
| 17 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Para 100 simulaciones el número mínimo de repuestos necesarios es 12 nuevamente.

| Tabla generada para el simulador de radares con 1 simulaciones | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Num. repuestos | Num. simulaciones | Media fallos | Media t desprotección | Media % desprotección | Desv. num fallos | Desv. t desprotección | Desv % desprotección |
| 0 | 500 | 43.614 | 353.264 | 96.7847 | 3.38172 | 8.2248 | 2.25325 |
| 1 | 500 | 49.964 | 327.702 | 89.7815 | 3.90708 | 15.6817 | 4.29633 |
| 2 | 500 | 52.968 | 286.273 | 78.4308 | 5.37818 | 22.7282 | 6.22769 |
| 3 | 500 | 52.948 | 239.339 | 65.5724 | 7.19394 | 27.4515 | 7.52098 |
| 4 | 500 | 47.96 | 184.182 | 50.461 | 8.74159 | 30.029 | 8.22693 |
| 5 | 500 | 41.108 | 138.178 | 37.857 | 9.83594 | 31.5809 | 8.65228 |
| 6 | 500 | 30.594 | 88.8157 | 24.3331 | 9.35437 | 27.1053 | 7.4261 |
| 7 | 500 | 21.71 | 57.0597 | 15.6328 | 8.91251 | 23.4896 | 6.43552 |
| 8 | 500 | 13.862 | 33.0256 | 9.04811 | 7.58168 | 18.336 | 5.02354 |
| 9 | 500 | 7.706 | 16.5063 | 4.52227 | 5.74958 | 12.8776 | 3.5281 |
| 10 | 500 | 4.012 | 8.00862 | 2.19414 | 4.01448 | 8.49454 | 2.32727 |
| 11 | 500 | 2.344 | 4.30441 | 1.17929 | 3.09917 | 6.26651 | 1.71685 |
| 12 | 500 | 1.01 | 1.6885 | 0.462602 | 1.89766 | 3.50219 | 0.959503 |
| 13 | 500 | 0.476 | 0.732022 | 0.200554 | 1.41613 | 2.36788 | 0.648735 |
| 14 | 500 | 0.132 | 0.176517 | 0.0483607 | 0.644521 | 0.880701 | 0.241288 |
| 15 | 500 | 0.056 | 0.0624482 | 0.0171091 | 0.439603 | 0.544604 | 0.149207 |
| 16 | 500 | 0.026 | 0.0234817 | 0.00643334 | 0.318633 | 0.27563 | 0.075515 |
| 17 | 500 | 0.014 | 0.00706058 | 0.0019344 | 0.184043 | 0.0963399 | 0.0263945 |
| 18 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

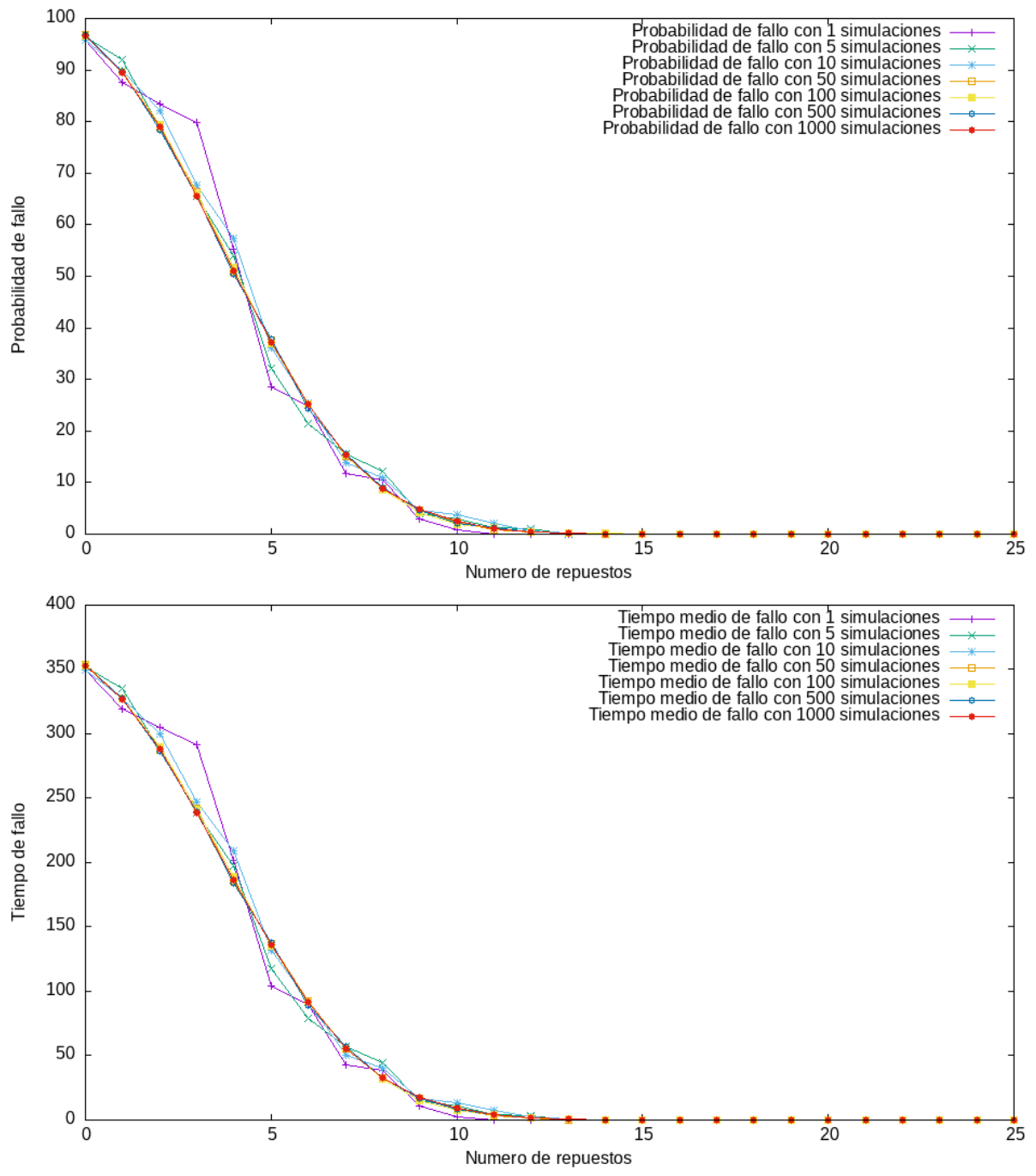
Para 500 simulaciones, el número se establece en 12.

| Tabla generada para el simulador de radares con 1 simulaciones | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Num. repuestos | Num. simulaciones | Media fallos | Media t desprotección | Media % desprotección | Desv. num fallos | Desv. t desprotección | Desv % desprotección |
| 0 | 1000 | 43.513 | 353.071 | 96.732 | 3.1796 | 8.59499 | 2.35043 |
| 1 | 1000 | 49.824 | 327.038 | 89.5994 | 3.96923 | 16.1883 | 4.43528 |
| 2 | 1000 | 53.512 | 288.475 | 79.0343 | 5.43427 | 22.5752 | 6.18537 |
| 3 | 1000 | 53.045 | 238.865 | 65.4425 | 7.00743 | 27.7088 | 7.59086 |
| 4 | 1000 | 48.38 | 186.192 | 51.0116 | 8.7462 | 30.6683 | 8.40182 |
| 5 | 1000 | 40.452 | 135.737 | 37.1883 | 9.58142 | 30.7735 | 8.43114 |
| 6 | 1000 | 31.071 | 91.6605 | 25.1124 | 9.66775 | 27.9243 | 7.6505 |
| 7 | 1000 | 21.122 | 55.8657 | 15.3057 | 8.61658 | 23.3216 | 6.3895 |
| 8 | 1000 | 13.697 | 32.3572 | 8.86498 | 7.25437 | 17.7917 | 4.87444 |
| 9 | 1000 | 8.095 | 17.5134 | 4.79818 | 5.80031 | 13.0986 | 3.58867 |
| 10 | 1000 | 4.477 | 8.83343 | 2.42012 | 4.2804 | 8.90266 | 2.43908 |
| 11 | 1000 | 2.271 | 4.17391 | 1.14354 | 2.92919 | 5.75138 | 1.57572 |
| 12 | 1000 | 1.03 | 1.69007 | 0.463034 | 2.23295 | 3.9231 | 1.07482 |
| 13 | 1000 | 0.37 | 0.581137 | 0.159215 | 1.16123 | 1.97489 | 0.541066 |
| 14 | 1000 | 0.125 | 0.194782 | 0.0533649 | 0.594751 | 1.05566 | 0.289222 |
| 15 | 1000 | 0.061 | 0.0826214 | 0.022636 | 0.370697 | 0.585637 | 0.160449 |
| 16 | 1000 | 0.023 | 0.0301155 | 0.00825083 | 0.22918 | 0.36915 | 0.101137 |
| 17 | 1000 | 0.008 | 0.018493 | 0.00506657 | 0.126301 | 0.363317 | 0.0995388 |
| 18 | 1000 | 0.001 | 0.00167416 | 0.000458674 | 0.0316228 | 0.0529416 | 0.0145045 |
| 19 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Para 1000 simulaciones es finalmente 12.

Por tanto, podemos afirmar rotundamente que para repuestos con un tiempo de reparación de entre 15 y 30 días y una vida útil de 20 días, el número mínimo de repuestos necesarios para que el tiempo de desprotección parcial sea inferior al 1 % es de 12 repuestos.

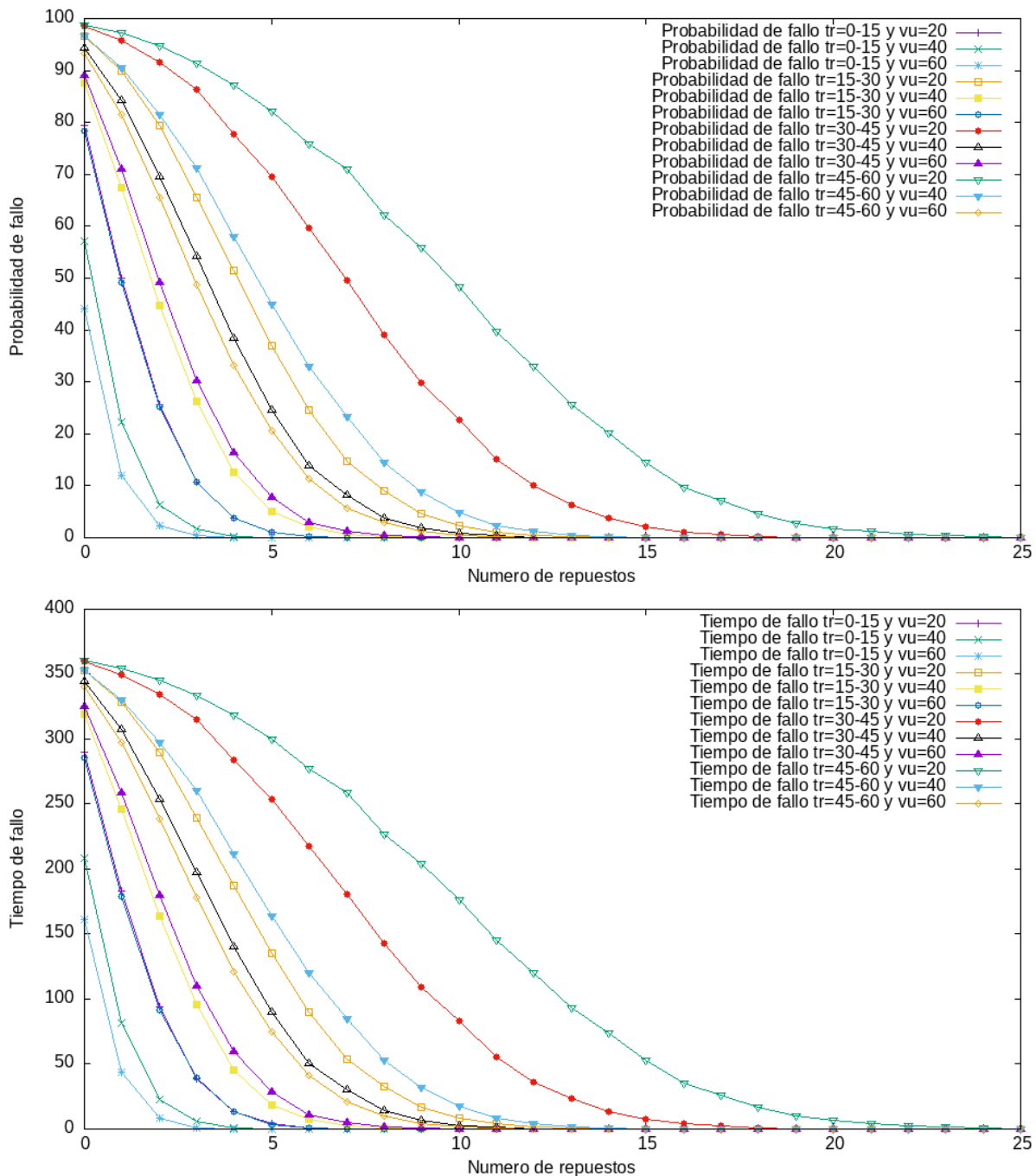
Finalmente se añaden dos gráficas en las que se puede notar, como al aumentar el número de simulaciones, las curvas tanto para el tiempo de desprotección como para el porcentaje de tiempo, estas se suavizan.



2.2: Variación de las propiedades de los repuesto

A continuación, se ha realizado el mismo estudio, pero variando las propiedades de estos repuestos. De ahora en adelante 'tr' se referirá a tiempo de reparación, es decir, el tiempo que tarda un repuesto en ser reparado y 'vu' se referirá a la vida útil del repuesto, el tiempo que tarda el mismo en fallar.

Debido al elevado número de pruebas realizadas, comentaremos los resultados en función de las siguientes gráficas:



En primer lugar, me gustaría recalcar un hecho que no debería sorprender a nadie, los mejores resultados los aporta el repuesto cuyo tr es menor, mientras que su vu es la máxima. Esto tiene mucho sentido, puesto que el mejor componente es el casi no falla y además es repuesto lo más rápido posible. Tampoco debería sorprendernos, que la peor combinación de parámetros es la opuesta, en la que el tr del repuesto es máxima y la vu es mínima.

Para obtener el mismo grado de protección, para el mejor repuesto solo necesitamos 3 mientras que para el peor necesitamos más de 20.

Creo que en este problema hace falta un factor decisivo a la hora de considerar uno u otro. Este factor es sin duda el precio del repuesto. Si no conocemos el precio, obviamente siempre será mejor el repuesto que mejores características tenga.

Por tanto la influencia que tiene variar estos parámetros en el sistema es clara, cuanto mejor sea el repuesto, mejor resultado en cuanto a protección aporta.

Apartado 3:

Simulador dos especies de peces

Este ultimo simulador, se basa en simular un lago en el que conviven dos especies de peces. La especie de peces pequeños se alimenta de los recursos que se encuentran en el lago, mientras que los peces grandes se alimentan de los peces pequeños. Si los peces tienen acceso a suficiente comida pueden reproducirse con el tiempo y aumentar la población.

3.1: Búsqueda del equilibrio

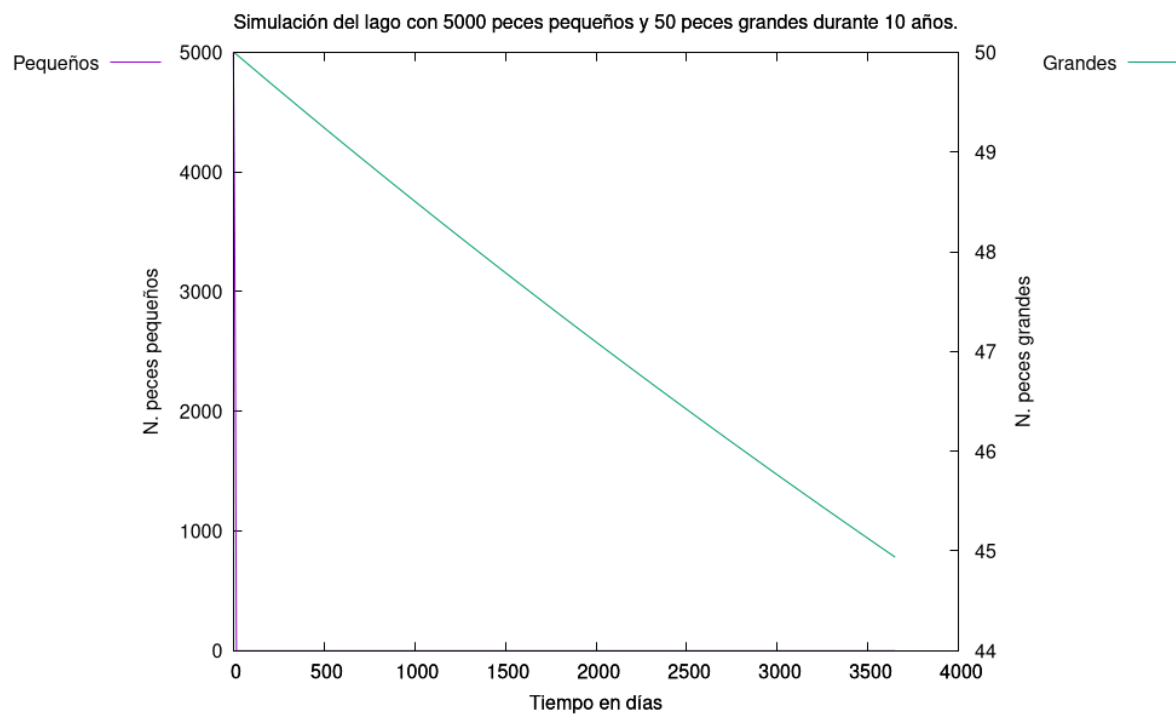
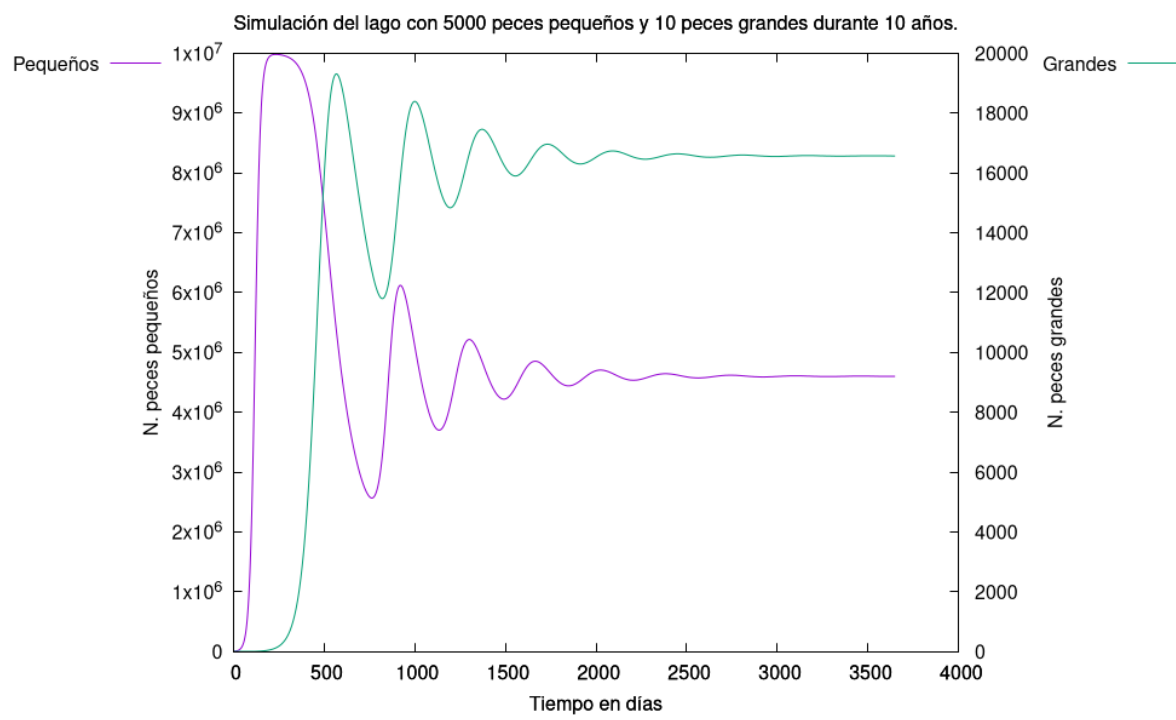
En este simulador, es fundamental encontrar la combinación de parámetros que permitan que el sistema encuentre un punto de equilibrio, durante las pruebas realizadas, se ha seleccionado como ejemplo ilustrativo los siguientes valores:

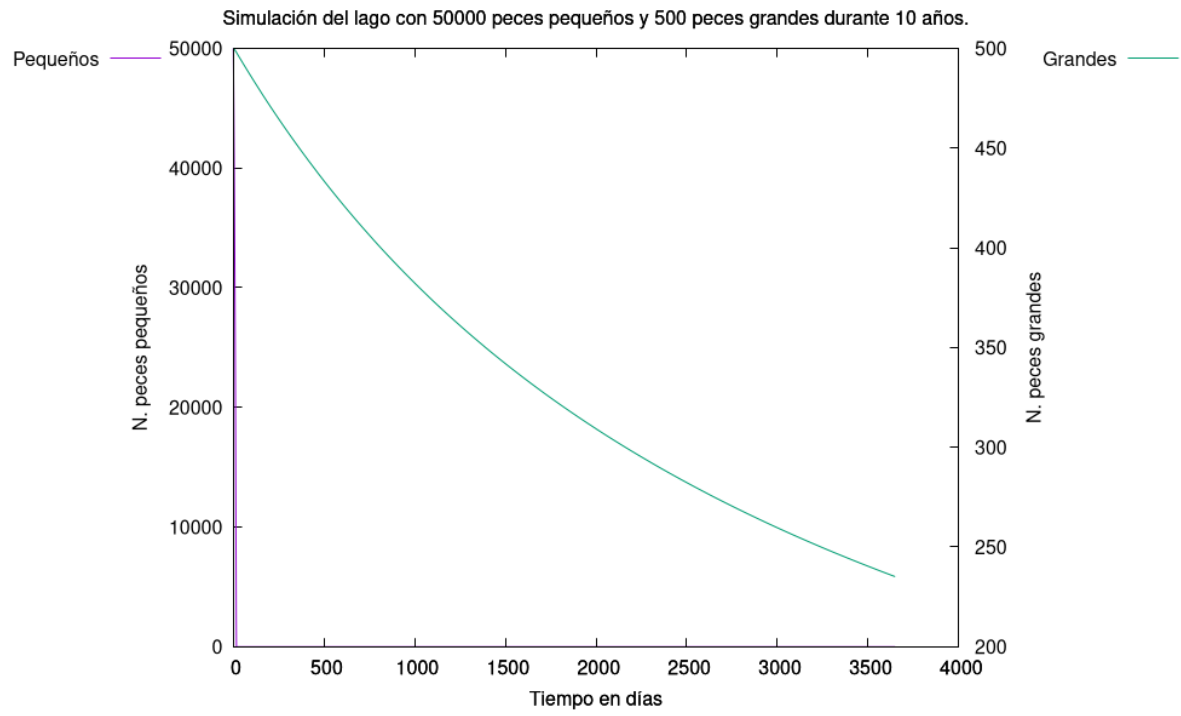
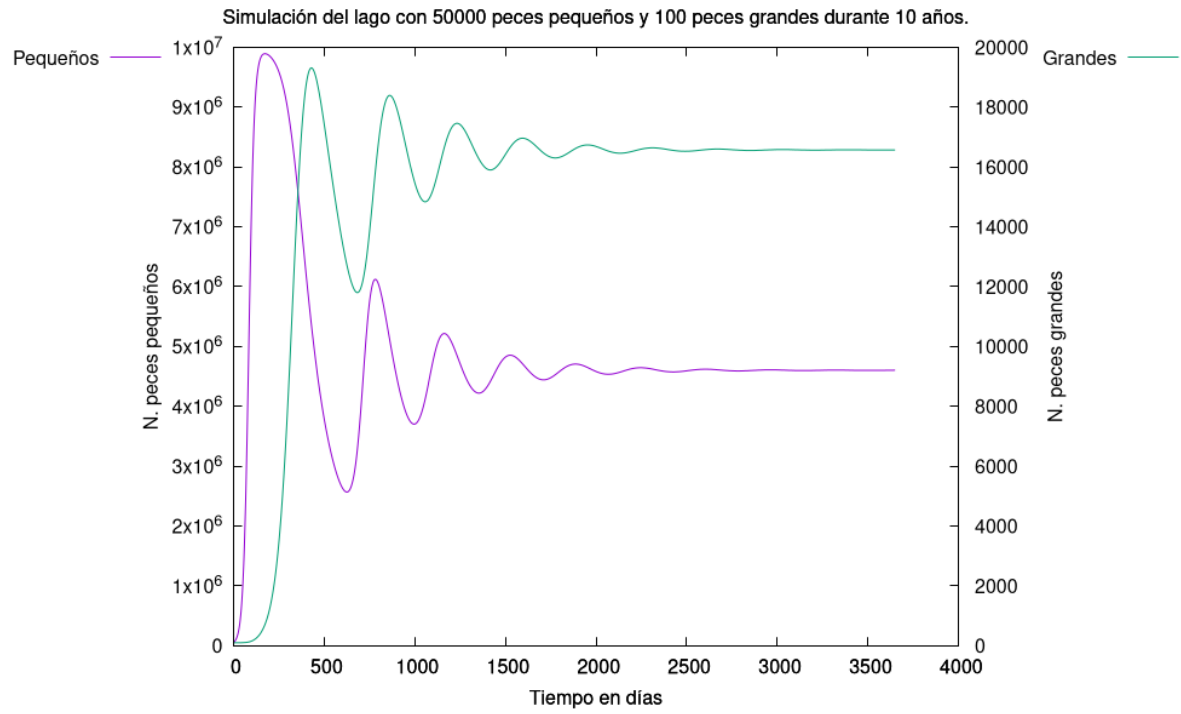
- Como ejemplos de sistemas que no están en equilibrio lagos con 5000 peces pequeños y 50 grandes y 50000 peces pequeños y 500 grandes.
- Como ejemplos de sistemas en equilibrio, poblaciones con 5000 peces pequeños y 10 grandes y 50000 peces pequeños y 100 grandes.

Las pruebas se han realizado para una población de dichos tamaños durante un periodo de 10 años.

Para los sistemas que no están en equilibrio, podemos ver como la población de peces pequeños se reduce drásticamente, mientras que la población de peces grandes se reduce poco a poco, ya que han consumido todos los recursos de los que disponían.

Sin embargo, en los sistemas en equilibrio, vemos como la población de peces grandes cree y disminuye en consonancia con la de los peces pequeños, hasta que ambas poblaciones alcanzan un tamaño que les permite permanecer en equilibrio a lo largo del tiempo.





3.2: Campaña de pesca

Para este apartado se ha propuesto añadir una mecánica de pesca al sistema. Para ello se ha seleccionado un sistema que se sabe que se encuentra en equilibrio.

El sistema con una población de 50000 peces pequeños y 100 grandes es el sistema de referencia.

La mecánica de pesca funciona de la siguiente manera, cada cierto número de días, se sustrae un determinado % porcentaje de la población de peces grandes — que es la que tiene interés comercial —.

Finalmente se anota el total de la pesca pasados 10 años en la simulación para comprobar cual es el mejor sistema.

En la siguiente tabla podemos observar los resultados obtenidos:

| Intervalo de días en los que se pesca | Porcentaje de la población que se pesca | Tamaño de la pesca pasados 10 años |
|---------------------------------------|---|------------------------------------|
| 30 | 0.1 | 166300 |
| 30 | 0.3 | 253974 |
| 30 | 0.5 | 236 |
| 30 | 0.9 | 9 |
| 60 | 0.1 | 86432 |
| 60 | 0.3 | 194077 |
| 60 | 0.5 | 179173 |
| 60 | 0.9 | 11 |
| 180 | 0.1 | 29145 |
| 180 | 0.3 | 70980 |
| 180 | 0.5 | 86917 |
| 180 | 0.9 | 29235 |
| 365 | 0.1 | 12591 |
| 365 | 0.3 | 26872 |
| 365 | 0.5 | 30811 |
| 365 | 0.9 | 12348 |

Como se puede apreciar, la mejor opción es pescar el 30 % de la población de los peces grandes cada mes. De esta manera, el número de peces pequeños se mantiene lo suficientemente estable para que el sistema permanezca el equilibrio y la población de peces grandes pueda recuperarse.

Más adelante podemos ver como afecta gráficamente la pesca al ecosistema.

Vemos como podemos mantener el sistema en equilibrio si pescamos la cantidad justa y necesaria, mientras que si pescamos más de lo debido, podemos destruir el equilibrio del sistema y condenar a los peces a la extinción, así como condenarnos a nosotros a la ruina.

