

## 4. Simulaciones

Para comprobar la fiabilidad del protocolo de actuación implementado, se han desarrollado una serie de escenarios que fuerzan al sistema a una gran variedad de situaciones límite.

### 4.1 Distribuciones espaciales en WorstCase

Se ha decidido someter al Sistema de Esquiva Reactivo a una serie conflictos especiales en los que se evalúan el peor caso posible al que el mismo puede enfrentarse.

Para ello, se han desarrollado una serie de funciones capaces de crear distribuciones especiales en los que los agentes se ven sometidos a situaciones límites.

Dado que el número de agentes con los que se llevan a cabo estas pruebas es elevado y su objetivo principal es evaluar la capacidad de resolver situaciones límite, se ha decidido en este caso relajar las especificaciones del simulador para generar respuestas más rápidas en los agentes, consiguiendo de ésta forma simulaciones más veloces.

Los parámetros con los que han sido evaluadas todas las pruebas de WorstCase han sido los siguientes:

$K^{Speed}$	1	$K^\varphi$	1
$\tau^{Speed}$	0.05	$\tau^\varphi$	0.05

Tabla 4.1: Parámetros de configuración de los sistemas de primer orden para WorstCase

$K_P^{Speed}$	50	$K_P^\varphi$	40	$R_S$	1m
$K_I^{Speed}$	1	$K_I^\varphi$	1	$R_R$	1.3m
$K_D^{Speed}$	0	$K_D^\varphi$	0	$d_{llegada}$	0.5m

Tabla 4.2: Parámetros de configuración del sistema para WorstCase

# Capítulo 4. Simulaciones

## 4.1.1 Agente rodeado

En éste experimento, seis agentes se posicionan rodeando a un séptimo y dejándolo atrapado. La posición de destino de los agentes que rodean se encuentra en el semiplano contrario al de origen, de forma que todos ellos, de no existir obstáculos, pasarían por la posición (0,0), donde se encuentra el agente encerrado.

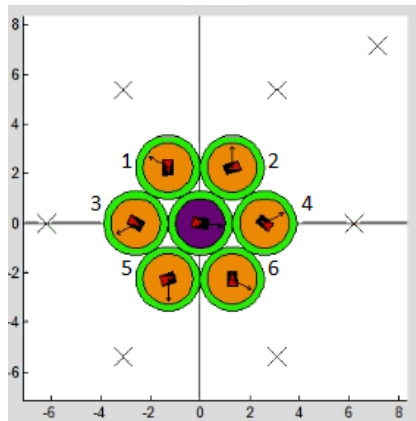


Figura 4.1: Distribución de Agente Rodeado en el Origen

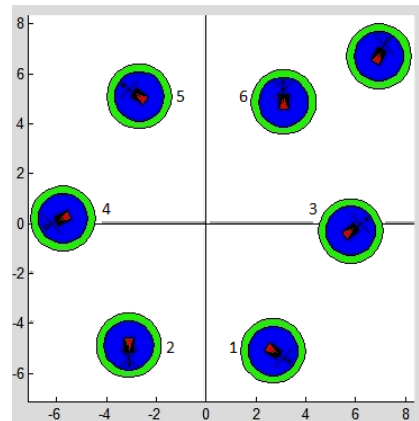


Figura 4.2: Distribución de Agente Rodeado en el Destino

## 4.1.2 Cruce en el origen

En éste caso los agentes comienzan en el primer cuadrante con unas coordenadas de origen (x,y), y con órdenes de alcanzar un destino en el tercer cuadrante que se sitúa en coordenadas (-x,-y), obligando a los mismos a pasar por el centro por defecto para llegar al destino.

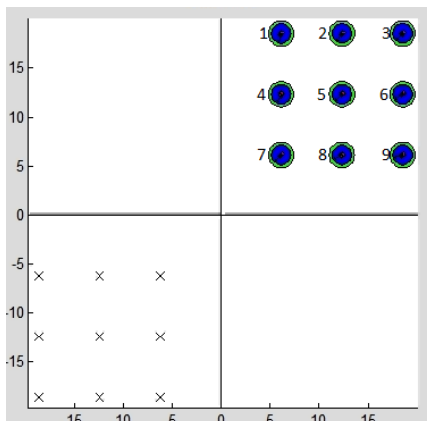


Figura 4.3: Distribución inicial de Cruce en el Origen

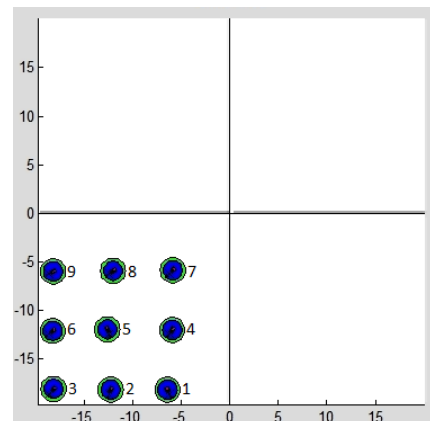


Figura 4.4: Distribución final de cruce en el origen

El experimento ha sido pasado con éxito para 4, 9 y 16 agentes.

### 4.1.3 Cruce avanzado en el origen

Ésta distribución se basa en el modelo anterior, con la salvedad de que el punto de partida puede situarse en cualquier cuadrante. Sea cual sea el inicio, el final ha de estar en el cuadrante opuesto, y cumpliendo las características antes mencionadas.

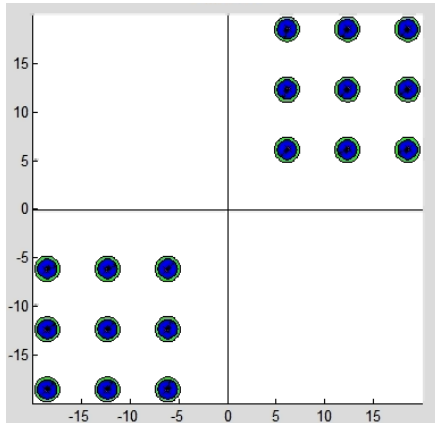


Figura 4.5: Distribución inicial de Cruce avanzado en el origen para 18 agentes

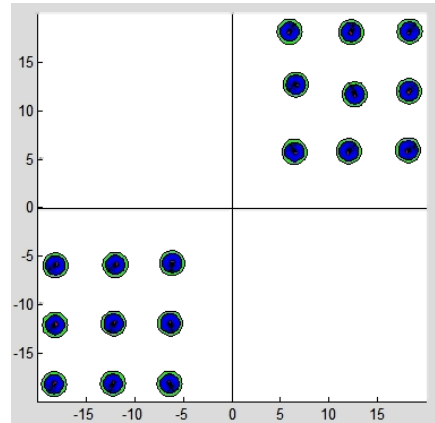


Figura 4.6: Distribución final de Cruce avanzado en el origen para 18 agentes

El experimento ha sido pasado con éxito para 9 agentes en cada cuadrante, posicionados en el primer y tercer cuadrante, y para 25 agentes por cuadrante situados en los cuatro cuadrantes.

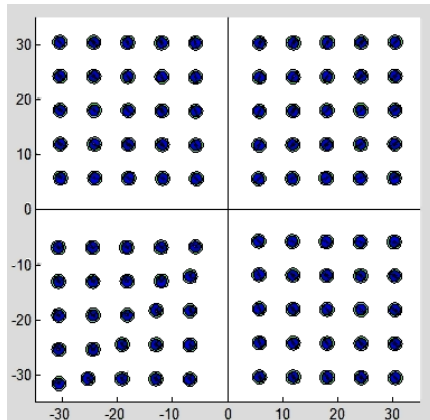


Figura 4.7: Distribución inicial de Cruce avanzado en el origen para 100 agentes

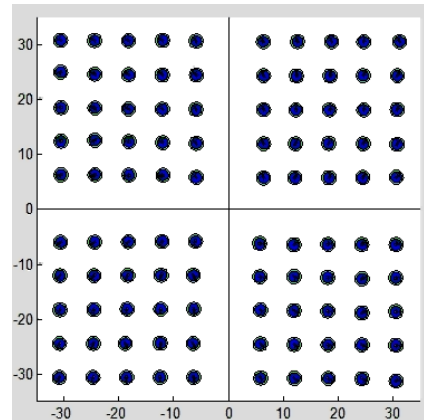


Figura 4.8: Distribución inicial de Cruce avanzado en el origen para 100 agentes

## Capítulo 4. Simulaciones

### 4.1.4 Cruce en anillo

En éste caso, el experimento posiciona los agentes realizando anillos de radio  $R$  alrededor del origen. Los destinos siguen el mismo criterio de posicionarse en el extremo opuesto, para que en caso de no existir conflictos, los agentes pasasen todos por el punto  $(0,0)$  del mapa.

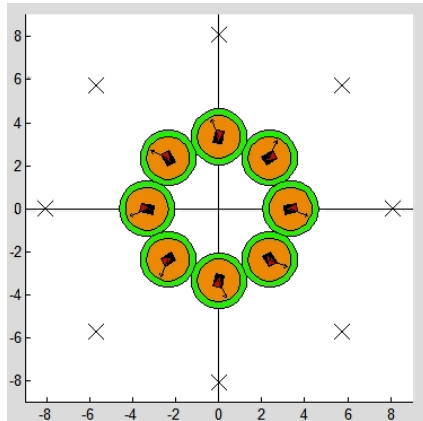


Figura 4.9: Distribución inicial de Cruce en anillo

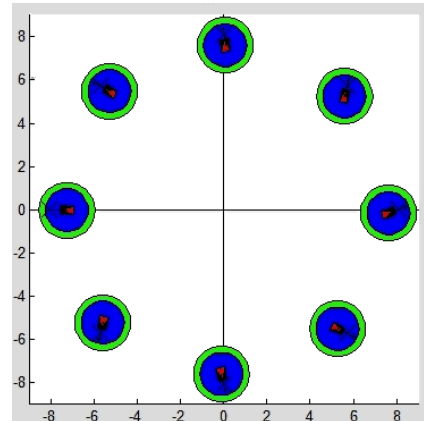


Figura 4.10: Distribución final de Cruce en anillo

Los experimentos realizados contemplan el caso de anillos de 5 y 8 agentes.

### 4.1.5 Anillos concéntricos

Ésta función utiliza el algoritmo anterior para posicionar a los agentes en una serie de anillos concéntricos.

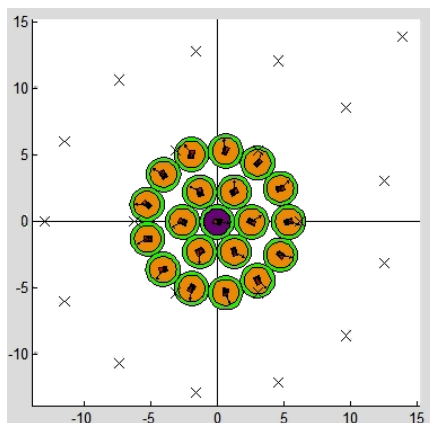


Figura 4.11: Distribución inicial de Cruce en 3 anillos concéntricos

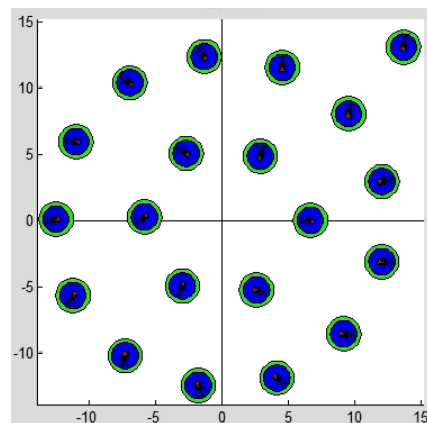


Figura 4.12: Distribución final de Cruce en 3 anillos concéntricos

## Capítulo 4. Simulaciones

---

Los experimentos realizados de ésta forma contemplan las siguientes opciones:

Anillos	Agentes/Anillo	Agentes
2	1	15
	3	
	12	
3	1	20
	6	
	13	
5	1	65
	6	
	13	
	19	
	26	

Tabla 4.3: Tabla de simulaciones realizadas con anillos concéntricos

### 4.1.6 Conclusiones sobre los WorstCase

El sistema de esquiwa reactivo ha pasado con éxito todos los experimentos de WorstCase a los que se le ha sometido. Por ello se puede concluir que el algoritmo es capaz de solucionar las situaciones más extremas a las que el mismo puede llegar a exponerse.

Sobre los videos generados se observa claramente cómo incluso en los casos de mayor saturación siempre existe un número elevado de agentes rodeando al resto, y que encuentran una solución para alcanzar el destino.

El sistema demuestra una amplia capacidad de resolución de conflictos ante los peores casos posibles.

## Capítulo 4. Simulaciones

---

### 4.2 Distribuciones Aleatorias

Para comprobar que el Algoritmo de Esquiva Reactivo es capaz de dar solución a cualquier tipo de caso que se le proponga además de para estudiar la eficiencia de las soluciones alcanzadas se ha decidido someter al sistema a una amplia batería aleatoria de conflictos.

De ésta forma se espera que cualquier escenario al que pueda verse sometido el sistema en la realidad tenga un homólogo virtual de similares características en el que haya demostrado su eficiencia al converger en una solución.

#### 4.2.1 El Generador de Escenarios Aleatorios

Para realizar dicho cometido se ha implementado una función de generación aleatoria de distribuciones iniciales bajo el nombre *Generador* dentro de la subcarpeta “Generador de Escenarios Aleatorios” y que basa su funcionamiento en el Generador Aleatorio del propio Simulador<sup>40</sup>.

Dicha función recibe como entrada el número de agentes y la distancia entre orígenes. El sistema fija una distancia a destino acorde para todas las simulaciones y genera una batería de 100 escenarios, comprobando con la ayuda del usuario que las distribuciones difieren entre sí.

Para ello, cada nueva distribución generada se comprueba con todas las que han sido ya validadas, evaluando la similitud con las mismas.

Las comprobaciones se realizan entre parejas de distribuciones, representándolas en una matriz de píxeles negros, donde la distancia intepixílica es de 0,1m. Sobre dicha matriz se representan con cuadrados blancos de 3x3 píxeles la posición de los orígenes del sistema centrados en el centro de masas del escenario.

Las constelaciones generadas de esta forma se comparan entre ellas haciendo uso de una función de correlación bidimensional, teniendo en cuenta todas las posibles orientaciones que las mismas pueden llegar a alcanzar.

---

<sup>40</sup> Véase Apartado 3.1: Interfaz Hombre Máquina

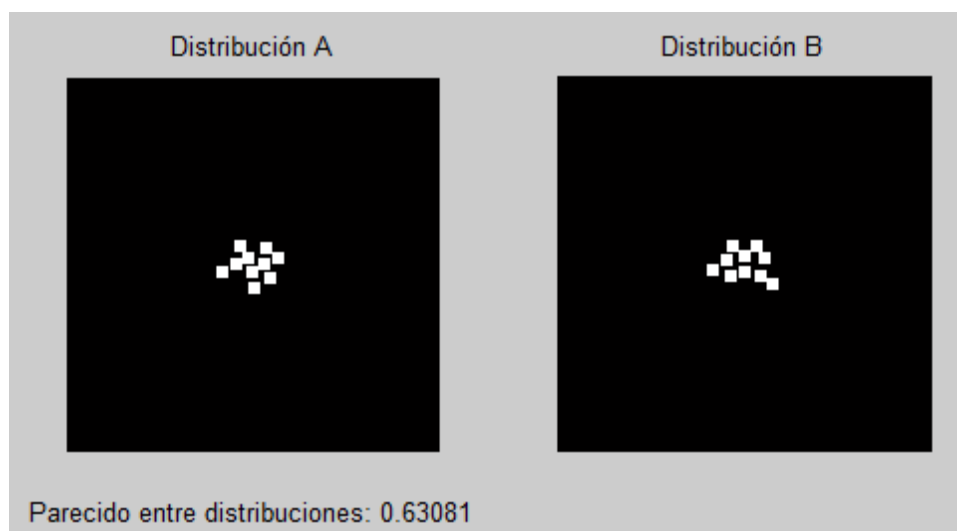


Figura 4.13: Comparación de dos constelaciones

Si el resultado de la comparación entre las distribuciones supera un determinado umbral, se solicita al usuario que valide o descarte el escenario.

Una vez realizadas todas las distribuciones se guardan sus respectivas Matrices de Inicialización<sup>41</sup> en archivos independientes .m preparados para ser usados por el simulador.

### 4.2.2 Distribuciones Aleatorias Rápidas

Siguiendo las premisas básicas del Método de Montecarlo, nuestro sistema validará su potencia de resolución de conflictos, siendo sometido a una serie de escenarios aleatorios diferenciados entre sí<sup>42</sup>, que lo expondrán a un gran número de situaciones.

De ésta forma, una vez en funcionamiento el Algoritmo de Esquiva, cada solución generada por el mismo ha de poder ser asemejada a una realizada de forma virtual en que haya demostrado ser eficiente.

<sup>41</sup> Véase Apartado 3.2: El Simulador en Matlab

<sup>42</sup> Véase Apartado 4.2.1: El Generador de Escenarios Aleatorios

## Capítulo 4. Simulaciones

---

Para ello, se ha generado una batería de 100 escenarios en el que 15 agentes se sitúan a 0.4m de distancia efectiva unos de otros<sup>43</sup>, y a 20m de sus respectivos objetivos.

Debido a que el número de simulaciones a realizar es alto y que el objetivo principal es la validación del sistema ante los conflictos y no la extracción de resultados precisos, se ha mantenido la configuración del Simulador usada en el apartado anterior<sup>44</sup> para aliviar los tiempos de cómputo de la solución total.

Tras la evaluación completa de la batería de experimentos se determina que el algoritmo ha sido capaz de resolver con éxito los 1500 conflictos a los que ha sido sometido<sup>45</sup>, llegando a converger en todos y cada uno de ellos a una solución que le ha permitido alcanzar el objetivo marcado salvando los encuentros sin ocasionar colisiones.

### 4.2.3 Distribuciones Aleatorias de Parámetros Reales

En ésta ocasión se hará uso del sistema creado para evaluar la eficiencia de las soluciones alcanzadas por el algoritmo.

Dicha eficiencia se calculará realizando la contraposición entre el recorrido directo del agente en caso de no existir obstáculos y el recorrido generado por el sistema que le ha permitido alcanzar el mismo sorteando los conflictos.

Para ello, se ha decidido someter al Simulador a 50 escenarios diferenciados entre sí<sup>46</sup>, en los que los agentes se han situado a una distancia efectiva de 0m<sup>47</sup>, alejados 7m de forma estándar de su objetivo.

---

<sup>43</sup> Distancia entre los Reserved Disk de los agentes. La configuración es de 3m de distancia entre agente y agente.

<sup>44</sup> Véase Apartado 4.1: Distribuciones Especiales en WorstCase

<sup>45</sup> Cada Simulación de 15 agentes presenta el mismo número de conflictos distintos a resolver. Se han realizado 100 simulaciones.

<sup>46</sup> Véase Apartado 4.2.1: El Generador de Escenarios Aleatorios

<sup>47</sup> Distancia entre los Reserved Disk de los agentes. La configuración es de 1.2m de distancia entre agente y agente.



## Capítulo 4. Simulaciones

En ésta ocasión se emplearán unos parámetros que realicen un modelado más preciso de un sistema real<sup>48</sup>; dichos parámetros serán los siguientes:

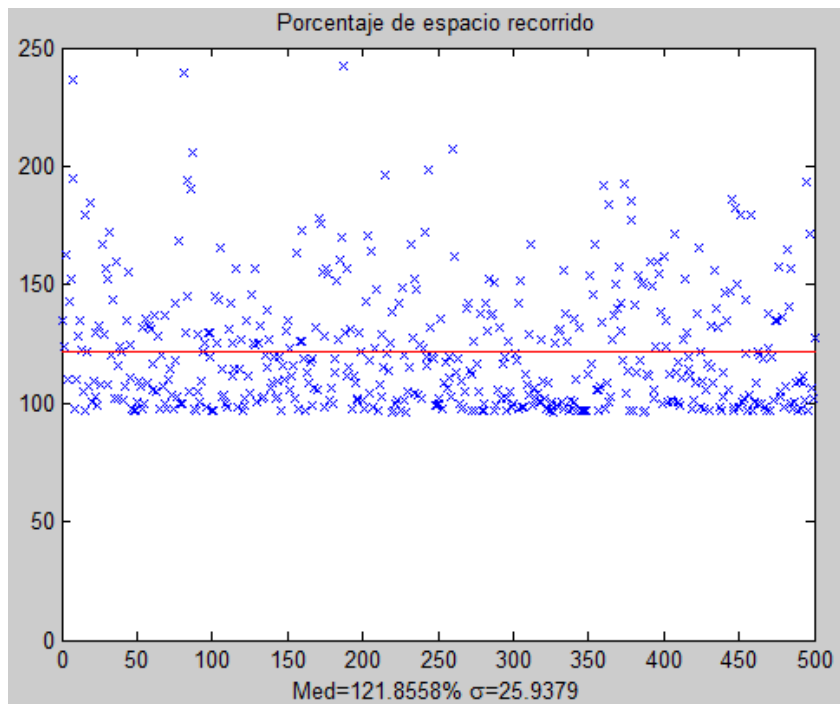
$K^{Speed}$	0.9	$K^\varphi$	1
$\tau^{Speed}$	0.5	$\tau^\varphi$	0.09

Tabla 4.4: Parámetros de configuración de los sistemas de primer orden

$K_P^{Speed}$	0.5	$K_P^\varphi$	0.5	$R_S$	0.4m
$K_I^{Speed}$	0	$K_I^\varphi$	0	$R_R$	0.6m
$K_D^{Speed}$	0	$K_D^\varphi$	0	$d_{llegada}$	0.25m

Tabla 4.5: Parámetros de configuración del sistema

La batería de simulaciones realizada arroja los siguientes resultados:

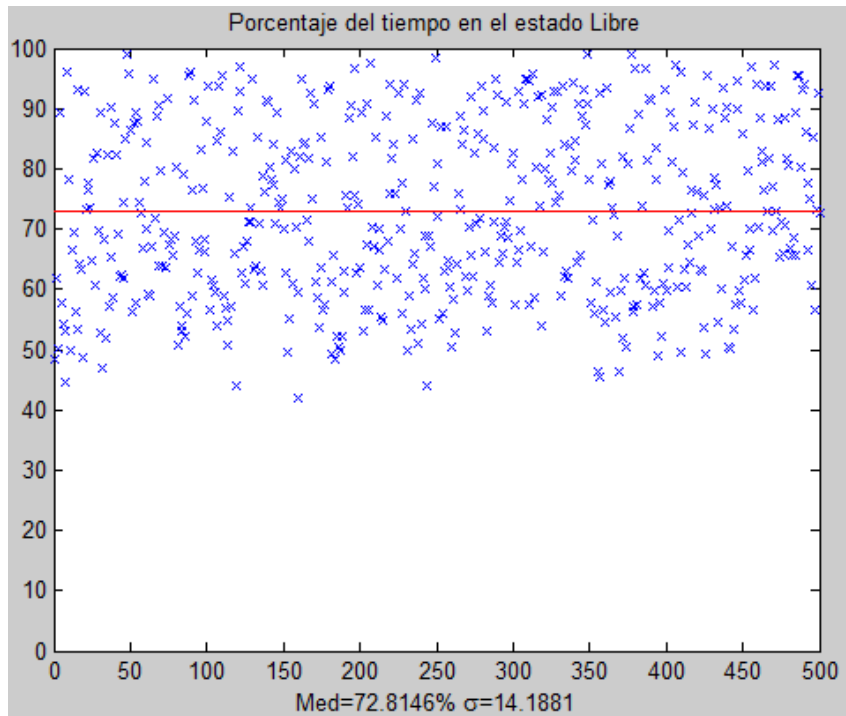


Gráfica 4.1: Representación de los porcentajes de espacio recorrido por los agentes

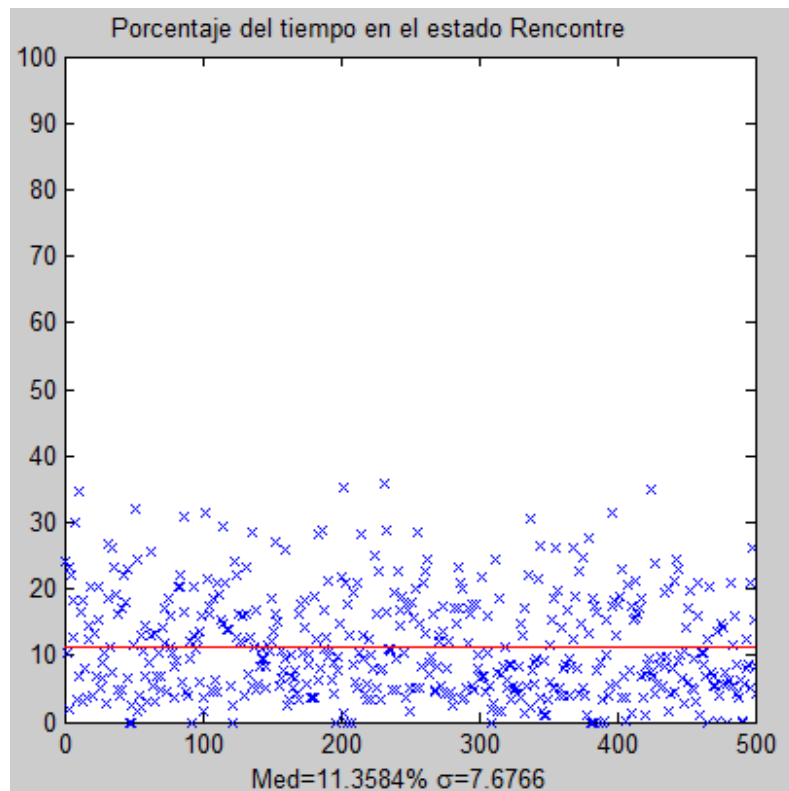
<sup>48</sup> Véase Apartado 6.1: Ajuste del Simulador

## Capítulo 4. Simulaciones

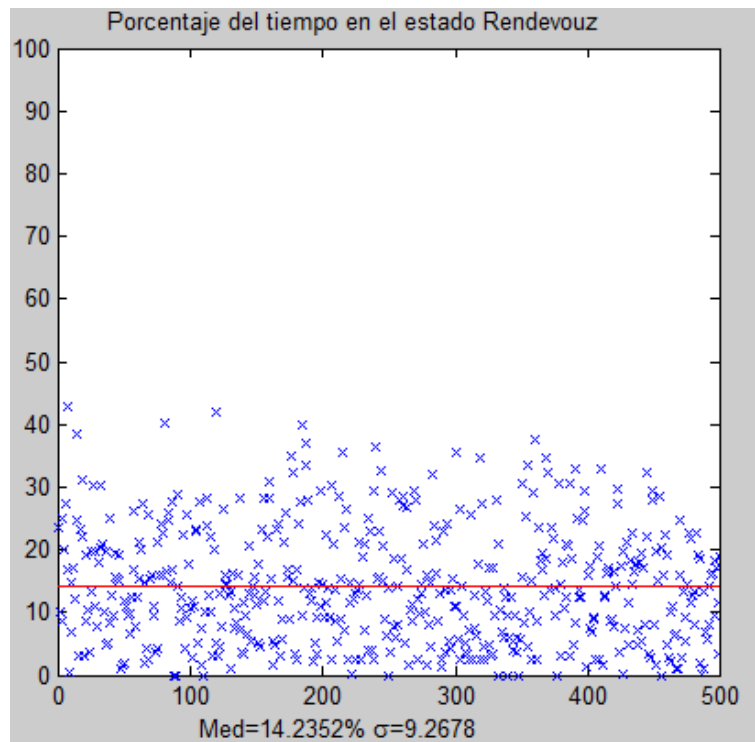
---



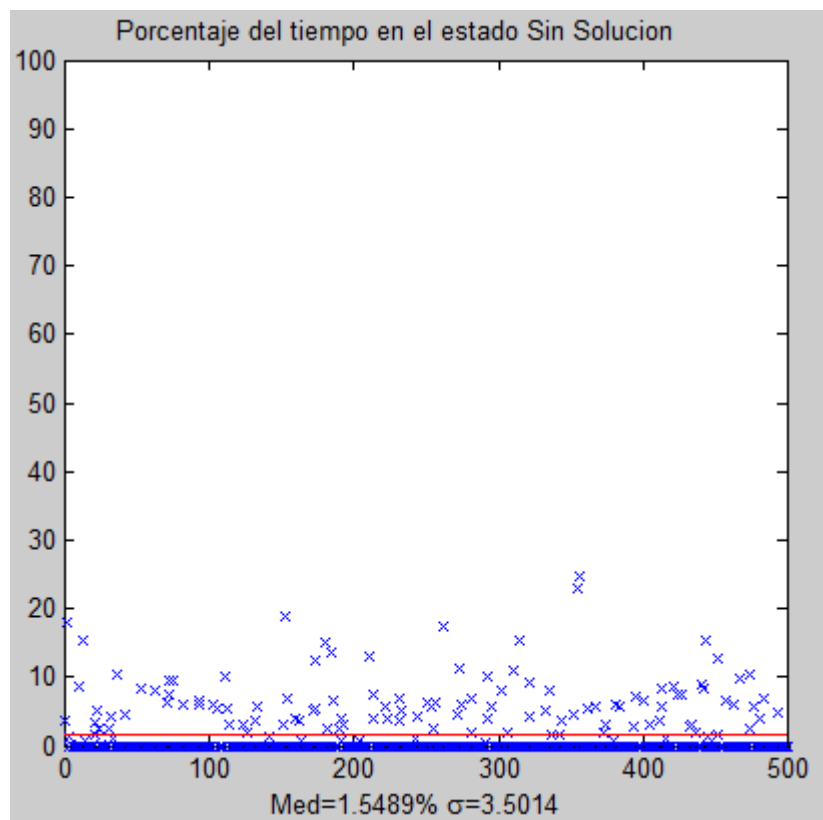
Gráfica 4.2: Representación de los porcentajes de tiempo en el estado Libre de los agentes



Gráfica 4.3: Representación de los porcentajes de espacio en el estado Rencontre de los agentes



Gráfica 4.4: Representación de los porcentajes de tiempo en el estado Rendezvous de los agentes



Gráfica 4.5: Representación de los porcentajes de tiempo en el estado Sin Solución de los agentes

## Capítulo 4. Simulaciones

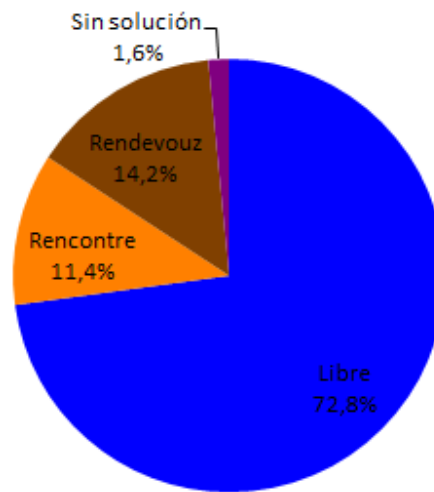
### 4.2.4 Conclusiones sobre los Experimentos Aleatorios

	Media	Desviación
Libre	67,37%	6,40
Rencontre	11,27%	4,37
Rendezvous	20,88%	10,37
Sin solución	0,42%	0,93

Tabla 4.6: Media y Desviación de los porcentajes de los agentes en cada estado.

	Media	Desviación
Distancia Recorrida	121.86%	25.94

Tabla 4.7: Media y Desviación de los porcentajes de distancia recorridos por cada agente



Gráfica 4.6: Representación de los porcentajes medios de cada agente en cada estado.

Sobre la gráfica 4.6 se observa cómo en media los agentes tienden a ocupar aproximadamente un 27% de su tiempo de ejecución en coordinar una solución que les permita llegar a su destino.

En media, el algoritmo presenta una gran eficiencia, pero sobre la gráfica 4.1 es fácil apreciar cómo las soluciones propuestas en muchos casos favorecen más a unos que a otros, llegado en todo caso siempre a converger en una solución.

### 4.3 Conclusiones Generales

El algoritmo ha respondido de forma favorable a todas las Simulaciones a las que ha sido sometido, presentando en todo momento gran eficacia en la resolución de encuentros múltiples incluso al someterlo a situaciones límite.

Por ello, puede concluirse que el Sistema de Esquiva Reactivo es completamente funcional de forma teórica, y que es capaz de resolver cualquier tipo de conflicto entre múltiples agentes de forma distribuida y siendo completamente escalable.

Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que éste simulador, a pesar de realizar una serie de premisas sobre errores y modelado aceptables, no es capaz de simular por completo la complejidad a la que el sistema real será sometido.

Por consiguiente, se ha decidido incluir en el proceso de validación del sistema, una serie de experimentos reales, llevados a cabo sobre un escenario en el que cinco robots con configuración diferencial coexisten en un plano con obstáculos.

