

# **TOMA DE DECISIONES EN SIMULACIÓN BASADAS EN LA TEORÍA DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO**

**MÁSTER EN INVESTIGACIÓN  
EN INFORMÁTICA  
2007-2008**

**PROYECTO FIN DE MASTER**



Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense  
MADRID

Alumno:  
Pedro Javier Herrera Caro

Director:  
Gonzalo Pajares Martinsanz



# Resumen

Este trabajo aplica un método de decisión bajo el paradigma de la Teoría de la Decisión Multicriterio (Multicriteria Decision Making, MCDM) bajo la perspectiva de la lógica fuzzy o borrosa (ambos términos se utilizarán indistintamente) para llevar a cabo la toma de decisiones en entornos simulados. La aportación fundamental estriba en la adaptación de dicha teoría para este tipo de entornos. Normalmente, las decisiones de simulación se basan en los criterios establecidos por un supervisor, de suerte que las decisiones suelen ser deterministas desde el punto de vista de este supervisor. Con la propuesta llevada a cabo aquí, las variables de decisión adquieren un carácter marcadamente aleatorio, donde las decisiones pierden significativamente su carácter determinista.

Con el fin de verificar la eficacia de esta teoría se ha diseñado un entorno de simulación propio bajo el desarrollo del proyecto de Sistemas Informáticos. Intencionadamente, se trata de un entorno relativamente sencillo con el fin de verificar los resultados de simulación obtenidos. No obstante, se deja abierta la opción de su extensión a entornos multiagente más complejos sin más que introducir nuevas variables de decisión y quizás nuevas alternativas. Los resultados obtenidos muestran la eficacia del método propuesto.

**Palabras clave:** multicriteria decision making, MCDM, toma de decisiones multicriterio, números triangulares fuzzy, focus, nimbus, percepción.

# Agradecimientos

A Gonzalo por su gran ayuda, María por sus consejos, Nacho y Pablo, mis compañeros de proyecto de Sistemas Informáticos, por su trabajo para hacer esto posible, y a mis padres, por estar siempre ahí.



# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. MOTIVACIÓN.....	4
1.1.1. La decisión en entornos simulados .....	4
1.1.2. ¿Por qué MCDM?.....	5
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	8
1.3. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA .....	8
<b>2. REVISIÓN DE MÉTODOS: MCDM</b> .....	<b>9</b>
2.1. ESTADO DEL ARTE .....	9
2.2. ENFOQUE GENERAL MCDM FUZZY .....	11
2.2.1. Formulación del problema y definiciones .....	11
2.2.2. Normalización.....	12
2.2.3. Añadiendo pesos a los criterios .....	12
2.2.4. Elección de alternativas.....	13
<b>3. APLICACIÓN DEL MCDM</b> .....	<b>15</b>
3.1. CRITERIOS QUE INTERVIENEN EN LA TOMA DE DECISIONES .....	15
3.2. ALTERNATIVAS QUE INTERVIENEN EN LA TOMA DE DECISIONES .....	19
3.2.1. Alternativas para el agente <i>Gato</i> .....	19
3.2.2. Alternativas para el agente <i>Ratón</i> .....	20
3.3. TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO.....	20
3.3.1. Toma de decisiones para el agente <i>Gato</i> .....	22
3.3.2. Toma de decisiones para el agente <i>Ratón</i> .....	25
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
4.1. RESULTADOS OBTENIDOS CON LA TOMA DE DECISIONES DEL AGENTE <i>GATO</i> .....	30
4.2. RESULTADOS OBTENIDOS CON LA TOMA DE DECISIONES DEL AGENTE <i>RATÓN</i> ...	35
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>41</b>
5.1. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS .....	42
5.2. TRABAJOS FUTUROS .....	43
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>45</b>
<b>7. ANEXO I</b> .....	<b>47</b>



# Capítulo 1

## 1. Introducción

En numerosos entornos de simulación resulta necesario tomar algún tipo de decisión por parte de los agentes involucrados. Se hace necesario recurrir a algún tipo de estrategia basada en el paradigma de la Teoría de la Decisión. Existen diversos métodos y estrategias dentro de este paradigma para decidir sobre la alternativa a elegir en la decisión. En los entornos reales, las variables de decisión toman sus valores de acuerdo a la situación real del momento, sin embargo, en simulación la realidad pasa a ser simulación y ésta a su vez es controlada por un supervisor o instructor, de suerte que las decisiones serán deterministas desde el punto de vista de este instructor. Incluso cuando se induce aleatoriedad, la función de densidad de probabilidad aleatoria elegida nos proporcionará los valores previstos tras una serie suficientemente alta de carreras de Monte Carlo.

Este trabajo pretende establecer las bases para la aplicación del enfoque conocido como Teoría de la Decisión Multicriterio (MultiCriteria-Decision Making, MCDM) bajo la perspectiva de la lógica borrosa o fuzzy (ambos términos se utilizarán indistintamente). Con ello se consigue introducir un componente aleatorio en el entorno de simulación donde el aspecto determinista de las decisiones se sustituye por una componente predominantemente aleatoria.

Se ha aplicado esta teoría a un entorno de simulación con agentes dotados de una cierta capacidad perceptual, de forma que las variables de decisión están condicionadas a la percepción visual obtenida por los diferentes agentes.

Se trata de un entorno en el que se simulan una serie de situaciones basadas en las acciones y reacciones de agentes hostiles entre sí, de forma que se establecen acciones de persecución y huida como las fundamentales.

Aunque en el entorno sólo actúan un número limitado de agentes del tipo *Gato* y *Ratón* que simulan las acciones de acción y reacción descritas, el planteamiento que se hace resulta ser fácilmente extensible a entornos con un mayor número de agentes sin más que incrementar o modificar las variables de decisión e incluso los propios criterios.

El grupo de investigación del que forma parte el director de este trabajo ha desarrollado diversos proyectos de investigación con empresas tales como Indra Sistemas o EADS-Casa líderes a nivel europeo o incluso mundial, como es el caso de Indra, en temas de simulación. Uno de los trabajos más recientes se encuentra publicado en Pajares y col. (2008), donde se muestra un entorno de simulación en el que los agentes deben optar por dos alternativas posibles según dos variables de decisión. En este trabajo, no se contempla la componente fuzzy, que se introduce aquí.

Los resultados se obtienen en un entorno de simulación propio desarrollado bajo la cobertura de la asignatura de Sistemas Informáticos. Como se ha mencionado anteriormente, el entorno se ha diseñado con unas pautas tales que permitan la verificación del método MCDM empleado. De este modo, se incluyen varios agentes, donde una serie de ellos es hostil al resto. Debido a ese comportamiento hostil unos u otros deben reaccionar ante determinados estímulos. Los agentes se mueven libremente por un entorno 3D.

Con el fin de modelar los agentes mediante un comportamiento más realista, se les dotó de un sistema de percepción visual, de tal forma que no pudieran conocer la situación de cada agente en el entorno, sino únicamente la de aquellos agentes que estaban en ese momento en su campo de visión.

Los agentes se modelan en el sistema desarrollado como gatos y ratones, donde cada uno de ellos tiene un rol determinado. Por el momento, no se incluye coordinación entre ellos, si bien en el futuro podría hacerse sin más que añadir más variables de decisión como se verá más adelante.



La complejidad de la toma de decisiones en entornos reales es evidente. En efecto, supóngase el ejemplo mencionado en Ríos y col. (2002), el director de una empresa se enfrenta con el problema de decidir si asociarse con otras para formar otra empresa de mayor intensidad o permanecer en la situación en la que está y en la que lleva muchos años. La decisión es muy importante para él pues aunque tiene ciertas ventajas no está exenta de posibles inconvenientes. Parece claro que una respuesta afirmativa conllevaría un aumento en las ventas y con ellas los múltiples beneficios derivados de éstas. Respecto a posibles inconvenientes, el primero que le surge al director es que, dado que la empresa no es de las mayores, él pasaría a ser un ejecutivo en el consejo de administración con menor relevancia y capacidad de decisión que la que tiene actualmente, perdiendo independencia en muchos aspectos y con riesgo de ir perdiendo categoría en el futuro.

El director consulta con sus colaboradores y también con su familia, y todos ellos le indican posibles ventajas e inconvenientes que tendría la fusión.

Como se puede observar, parece que la *decisión* le resulta bastante complicada al director, ya que han surgido múltiples aspectos a tener en consideración. Se plantea entonces la necesidad de tomar una decisión de modo racional y coherente, utilizando algún método que le permita tener en cuenta las distintas ventajas e inconvenientes.

A la vista del problema observamos en primer lugar que muchos de sus aspectos tienen asociada *incertidumbre*. Su identificación y representación cuantitativa constituye un importante problema, no exento de juicios personales. Por ejemplo, es clara la incertidumbre del director respecto a su posición futura, respecto a si los beneficios serán mayores, etc. Unido a esto se encuentra su actitud frente al riesgo, que será importante a la hora de tomar la decisión final.

También el problema incluye *objetivos múltiples*, muchos de los cuales serán conflictivos, de manera que progresar en algunos conllevará la degradación en otros. El individuo tendrá como objetivos el deseo de “maximizar el beneficio”, “minimizar la inestabilidad en el puesto de trabajo”, etc. Parece claro que no existirá ninguna alternativa que alcance simultáneamente todos los objetivos debido a su complejidad, de manera que le resultará obligado considerar *intercambios* entre objetivos. Por ejemplo, debería

responder a cuestiones como: ¿a qué cantidad de beneficio estaría dispuesto a renunciar a cambio de aumentar su estabilidad o seguridad en el puesto de trabajo?

Ligada a cada *alternativa de decisión* se tendrá entonces una *consecuencia o resultado*, que será escalar o vectorial según el problema sea uniobjetivo o multiobjetivo, respectivamente, y el decisor basándose en juicios personales deberá cuantificar sus *preferencias* sobre las posibles consecuencias, obteniendo así los *valores o utilidades*, que constituirán una entrada más del modelo de decisión.

Finalmente, buena parte de la dificultad en el tratamiento del problema provendrá de lo difícil que puede llegar a ser entenderlo debido a su *estructura compleja*. Tal estructura será de gran ayuda para *generar las alternativas de decisión* posibles, una de las cuales habrá que elegir. Además, resaltar que en tal estructura quedarán plasmados los múltiples aspectos que simultáneamente tiene que considerar el individuo y la *naturaleza secuencial* de alguno de ellos. Por ejemplo, si decide la fusión, debe ver a continuación en qué puesto de trabajo se quedaría, después qué colaboradores de su antigua empresa puede mantener junto a él, etc.

En definitiva, hemos planteado algunos de los aspectos y rasgos básicos que aparecen en los problemas de decisión y que se han propuesto en la literatura para mejorar el proceso de toma de decisiones.

## **1.1. Motivación**

### **1.1.1. La decisión en entornos simulados**

Como se deduce del ejemplo real anterior, existen por un lado *variables de decisión* con un cierto grado de incertidumbre asociado. Además aparecen varias *alternativas* de suerte que cada una de ellas tendrá a su vez unas *preferencias* asociadas, que se traducen en los denominados valores de *utilidad*, que a su vez constituyen las entradas al sistema.

En el caso que nos ocupa, los agentes que se encuentran en el entorno *virtual*, gatos y ratones, tienen unos objetos definidos: los gatos deben cazar a los ratones, y estos

impedirlo. Gracias al mecanismo de percepción visual los gatos/ratones sólo pueden perseguir/huir a/de aquellos agentes que percibieran en cada momento.

Una vez un agente percibiera a otro, cabrían varias alternativas posibles en función del tipo de agente. La conjunción de variables de decisión y alternativas a tomar conduce a la elección de un mecanismo basado en la Teoría de la Decisión, constituyendo así el origen de la investigación que se presenta.

### **1.1.2. ¿Por qué MCDM?**

Este trabajo surge como una extensión de algunos trabajos previos relativos a la toma de decisiones en entornos simulados. En efecto, el grupo de investigación donde se desarrolla este trabajo desarrolló el proyecto 353/2005 al amparo del artículo 83 de la LOU con la empresa EADS-Casa con el título “Evaluación de Técnicas de Inteligencia Artificial para Toma de Decisiones y Optimización de Estrategias”. En este proyecto se experimentaron algunas técnicas de decisión muy simples, estando prevista su ampliación a otras estrategias relativas a toma de decisiones. Tras el correspondiente estudio y análisis bibliográfico se determinó el MCDM como uno de los métodos más prometedores (Pajares y col. 2008).

Uno de los principales problemas derivados del hecho de utilizar un entorno virtual surge porque el modelado de la incertidumbre no resulta trivial. O visto desde otra perspectiva puede resultar tan trivial que carece de incertidumbre. En los grandes sistemas de simulación suele ser habitual tomar una decisión en función de si entre dos objetos existe línea de vista o no, es decir hay obstáculos entre ellos o se encuentran libres de obstáculos. En este caso la incertidumbre resulta difícilmente modelable y nos encontraríamos ante un sistema de decisión determinista sin incertidumbre.

Siguiendo la filosofía expuesta en Ríos y col. (2002) respecto de la incertidumbre y su modelado existen en la realidad multitud de situaciones en las que el decisor no tiene seguridad sobre lo que ocurrirá cuando elija una determinada alternativa de entre varias que se ofrecen. En los sistemas de simulación con decisores deterministas estas situaciones o bien no existen o están minimizadas. En efecto, dependiendo de las variables que

introduzca el instructor el proceso de simulación realizará una acción que puede preverse de antemano.

Para aclarar esta situación pongamos el siguiente ejemplo, imaginemos que se plantea una situación de simulación en la que un equipo de bomberos debe intervenir ante la aparición de un foco de fuego, figura 1.1. Dada la posición del objetivo (fuego) y la base (bomberos) cabe la posibilidad de elegir entre varias alternativas, en este caso los caminos existentes desde la base al fuego.

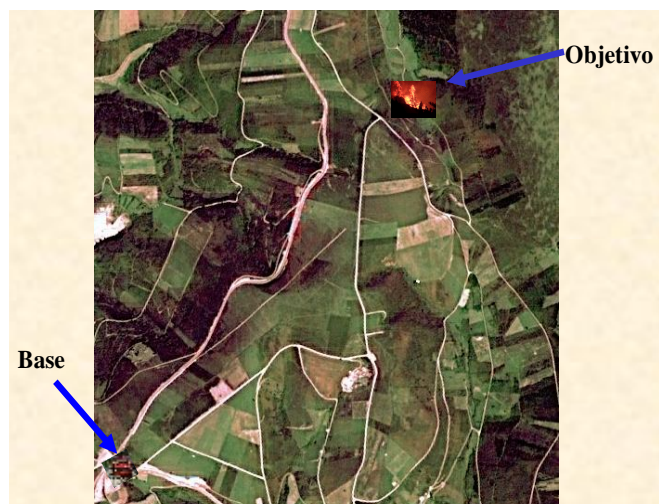


Figura 1.1 Intervención de simulación

Supongamos que mediante una estrategia de búsqueda inteligente, como bien podría ser el algoritmo A\*, se determina el camino óptimo a seguir desde la *base* al *objetivo*. Dependiendo de las restricciones y obstáculos, finalmente se elegirá una alternativa concreta. Si las circunstancias del entorno no cambian, esa misma alternativa se elegiría siempre que se aplicara el algoritmo de búsqueda. Es más, llegado el caso, no sería necesaria la ejecución de la simulación puesto que se sabrían los resultados de antemano. Con referencia a la figura 1.2, ante la misma configuración del entorno el camino planificado sería siempre el mismo.

Esta situación determinista puede cambiarse introduciendo ciertos elementos aleatorios. En este sentido, se podrían suponer situaciones del tipo como que existe cierta probabilidad de aparición de determinados obstáculos y dependiendo de dicha probabilidad

considerarlos como salvables o insalvables. En este caso, los caminos podrían ser diferentes en función de dichos valores probabilistas.

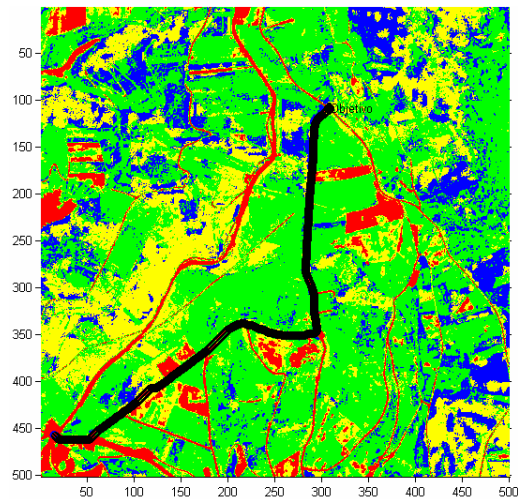


Figura 1.2 Intervención de simulación

El siguiente paso consiste en elegir un mecanismo apropiado con el fin de poder introducir esa incertidumbre en un entorno de simulación. Uno de tales procedimientos nos lo proporciona la denominada MCDM fuzzy (Chen, 2000; Jiang y Chen, 2005; Ribeiro, 1996; Wang y Fenton, 2008). El análisis multicriterio es una metodología de toma de decisiones que se ha impuesto como la idónea en multitud de campos de aplicación. El importante subcaso en el que hay que decidir entre varias alternativas, desde unas pocas a algunos centenares, teniendo en cuenta diversos criterios o puntos de vista, surge frecuentemente. A este tipo de problemas se dedica la llamada Decisión Multicriterio, cuyo grado de madurez científica está ya hoy sólidamente establecido. No sólo en su faceta puramente teórica, en donde cuenta con un notable cuerpo de propuestas, resultados y vías abiertas de investigación, sino en la aplicada, dada su extensa gama de aplicaciones en muy diversos contextos. Para su utilización práctica suele ser muy conveniente disponer de un soporte informático adecuado.

Por tanto, la conjunción de la aplicación de la MCDM conjuntamente con la disponibilidad de una herramienta informática adecuada ha desembocado en el estudio y trabajo de investigación que aquí se presenta.

El objetivo fundamental lo constituye el análisis y comportamiento del método basado en la teoría MCDM y para ello se hace necesario disponer de un entorno de simulación lo más sencillo posible con el fin de que éste no enmascare los resultados producidos por el MCDM. Esta ha sido la motivación que ha llevado al diseño de una herramienta sencilla donde verificar el comportamiento del método MCDM.

## **1.2. Objetivos de la investigación**

- 1) Aprender a manejar referencias bibliográficas, así como la forma de abordar las investigaciones.
- 2) Identificar métodos de toma de decisiones existentes en la literatura.
- 3) Estudiar diversas alternativas de toma de decisiones (reglas, línea de vista, probabilidad...)
- 4) Analizar el comportamiento del MCDM

## **1.3. Organización de la memoria**

La memoria se organiza de la siguiente forma: en el capítulo 2 se realiza una revisión del método MCDM, que incluye un estado del arte y un enfoque general del MCDM fuzzy. En el capítulo 3 se aplica este método al entorno escogido, detallando los criterios que se han definido, las posibles alternativas para cada uno de los agentes, y las posibles decisiones a tomar. En el capítulo 4 se analizan los resultados obtenidos a partir de los experimentos realizados sobre la toma de decisiones, implementada a tal efecto para cada tipo de agente. En el capítulo 5 se comentan las conclusiones obtenidas así como trabajos futuros. En el Anexo I se explica el modelo de percepción que incorporan los agentes.

# Capítulo 2

## 2. Revisión de métodos: MCDM

### 2.1. Estado del arte

La toma de decisiones multicriterio (MCDM) ha sido y es un área de investigación muy valorada desde hace más de tres décadas. Los primeros estudios sobre análisis multicriterio aparecieron en los años 60 y rápidamente se extendieron por todo el mundo, interesándose cada vez más investigadores por este tema. Durante los años 80 se produjo un enorme crecimiento internacional en MCDM debido principalmente a su naturaleza interdisciplinaria (empresarios, matemáticos, economistas, sociólogos, etc.), a la presencia de diferentes criterios en los problemas reales de decisión y a la formación de grupos de especialistas y sociedades científicas de expertos internacionales (EURO Working Group on Multicriteria Decision Aid, Special Interest Group on MCDM, International Society on Multiple Criteria Decision Making). Estos grupos han continuado reuniéndose regularmente, produciendo una gran cantidad de resultados interesantes tanto desde el punto de vista metodológico como del operativo.

Se realizó un estudio bibliométrico básico de la MCDM (Wallenius y col., 2007) utilizando la base de datos ISI, la cual cubre 8650 revistas. En el estudio se encontraron 6910 publicaciones acerca de MCDM entre 1970 y 2007. Las figuras 2.1 y 2.2, y la tabla 2.1 pretenden incidir en la importancia de la toma de decisiones multicriterio.

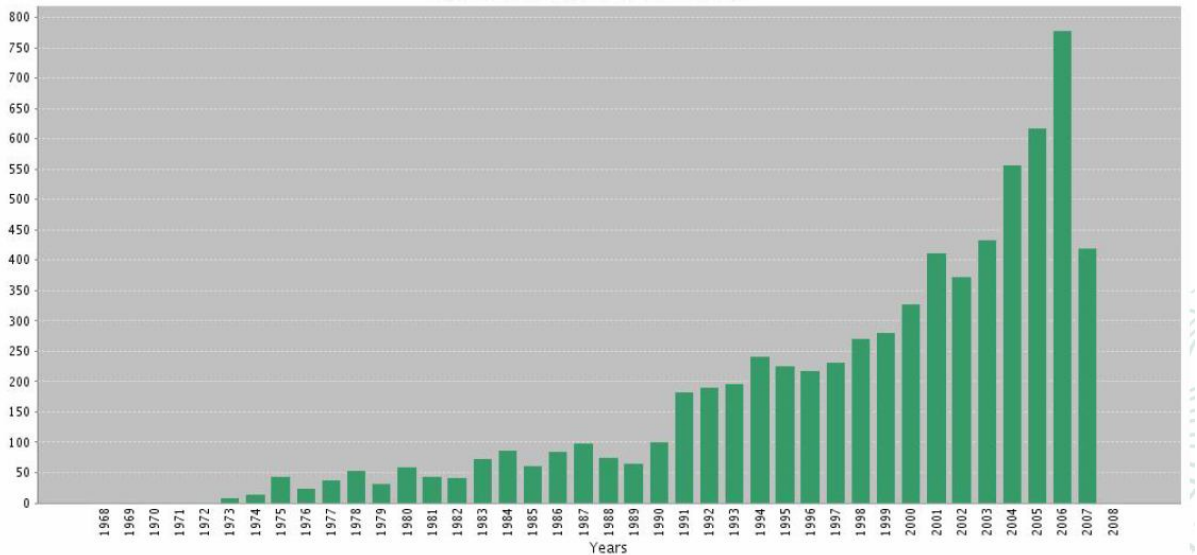


Figura 2.1 Publicaciones por año

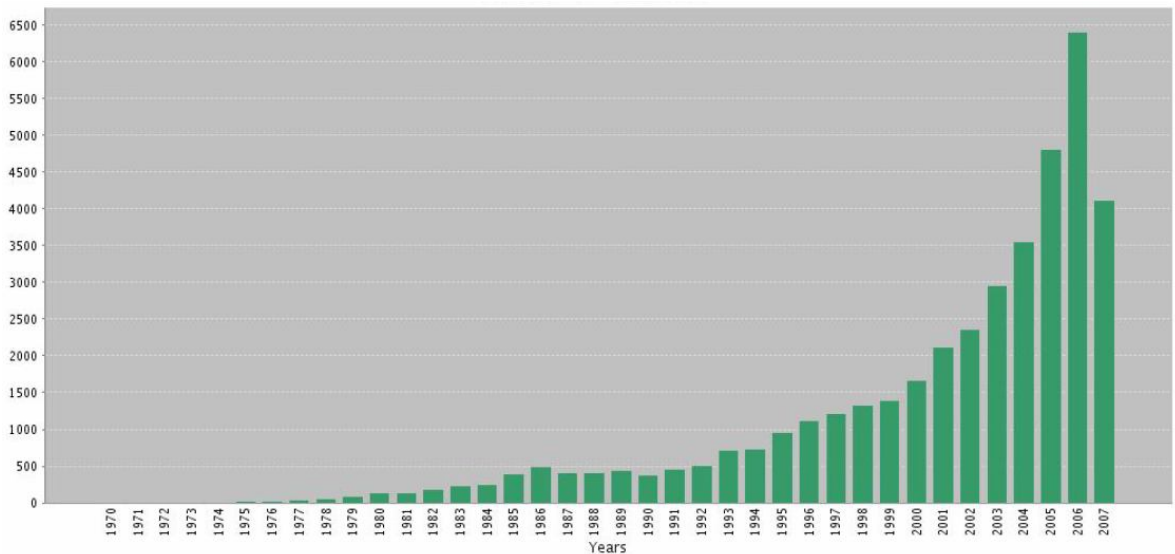


Figura 2.2 Citaciones por año

Publicaciones por países:

País	Número	%
EEUU	2097	30.3
China	471	6.8
Inglaterra	441	6.4
Canadá	351	5.1
Taiwán	329	4.8
España	306	4.4
India	302	4.4
Alemania	264	3.8
Japón	241	3.5
Italia	235	3.4
Australia	202	2.9



País	Número	%
Francia	195	2.8
Corea del sur	189	2.7
Finlandia	184	2.7
Holanda	176	2.5

Tabla 2.1 Publicaciones por países

## 2.2. Enfoque general MCDM Fuzzy

### 2.2.1. Formulación del problema y definiciones

Un problema general de decisión multicriterio con  $m$  alternativas  $A_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) y  $n$  criterios  $C_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) se puede expresar de la siguiente manera:

$$D = [x_{ij}] \text{ y } W = (w_j), \text{ donde } i = 1, \dots, m \text{ y } j = 1, \dots, n. \quad (2.1)$$

Aquí  $D$  hace referencia a la *matriz de decisión* (donde la entrada  $x_{ij}$  representa el valor para la alternativa  $A_i$  con respecto al criterio  $C_j$ ), y  $W$  como el *vector de pesos* (donde  $w_j$  representa el peso del criterio  $C_j$ ). En general se clasifican los criterios como sigue:

- *criterios de beneficio* (donde el mejor valor para la toma de decisiones es el valor mas alto de  $x_{ij}$ ) o
- *criterios de coste* (donde el mejor valor para la toma de decisiones es el valor mas bajo de  $x_{ij}$ ).

Como se desea considerar a los valores en  $D$  y  $W$  fuzzy en lugar de no fuzzy, se usará la misma notación, teniendo en cuenta que a partir de este momento son valores fuzzy:

$$D = [x_{ij}] \text{ y } W = (w_j) \quad (2.2)$$

Donde  $x_{ij}$  representa el valor fuzzy para la alternativa  $A_i$  con respecto al criterio  $C_j$ , y  $w_j$  representa el peso fuzzy del criterio  $C_j$ . En particular, un acercamiento por intuición fácil y eficaz a la captura de la incertidumbre del experto sobre el valor de un número desconocido es un número triangular fuzzy:

**Definición:** Un número triangular fuzzy  $a$  se define por una tupla  $(a_1, a_2, a_3)$ . La función que los relaciona se define como sigue (Kaufmann y Gupta, 1985):

$$\mu_a(x) = \begin{cases} (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2, \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq x \leq a_3, \\ 0, & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (2.3)$$

El número triangular fuzzy se basa en el juicio de tres valores: el menor valor posible  $a_1$ , el valor más posible  $a_2$  y el máximo valor posible  $a_3$ .

### 2.2.2. Normalización

Para tratar con criterios de diferentes escalas, se aplica un proceso de normalización. Específicamente, se normalizan los números fuzzy en la matriz de decisión como la matriz de *performance*:

$$P = [p_{ij}]$$

$$\text{donde } p_{ij} = \begin{cases} \left( \frac{x_{ij1}}{M}, \frac{x_{ij2}}{M}, \frac{x_{ij3}}{M} \right), & \begin{array}{l} \text{siendo } M = \max_i x_{ij3}, \\ C_j \text{ es un criterio de beneficio} \end{array} \\ \left( \frac{N - x_{ij3}}{N}, \frac{N - x_{ij2}}{N}, \frac{N - x_{ij1}}{N} \right), & \begin{array}{l} \text{siendo } N = \max_i x_{ij3}, \\ C_j \text{ es un criterio de coste} \end{array} \end{cases} \quad (2.4)$$

Este método preserva los números triangulares fuzzy normalizados al rango  $[0, 1]$ .

### 2.2.3. Añadiendo pesos a los criterios

Se construye la matriz de *performance* promediada multiplicando el vector de pesos por la matriz de decisión como:

$$P^w = [p_{ij}^w], \quad (2.5)$$

donde  $p_{ij1}^w = w_{j1}p_{ij1}$ ,  $p_{ij2}^w = w_{j2}p_{ij2}$ ,  $p_{ij3}^w = w_{j3}p_{ij3}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , y  $j = 1, 2, \dots, n$ .

## 2.2.4. Elección de alternativas

Se utiliza el *método del vértice* (Chen, 2000) para calcular el índice de referencia de las alternativas para tratar soluciones ideales (Hwang y Yoon, 1981). La mejor alternativa debería tener la distancia mas corta a la solución ideal positiva, y la distancia mas larga a la solución ideal negativa.

**Definición:** Sean  $a = (a_1, a_2, a_3)$  y  $b = (b_1, b_2, b_3)$  dos números triangulares fuzzy, entonces el *método del vértice* define la distancia entre ellos como:

$$d(a, b) = \left\{ \left[ (a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2 \right] / 3 \right\}^{1/2} \quad (2.6)$$

Para matriz de funcionamiento fuzzy normalizada, se define la solución ideal positiva  $p_j^+ = (1, 1, 1)$  y la solución ideal negativa  $p_j^- = (0, 0, 0)$  bajo los criterios como referencias para medir el funcionamiento de las alternativas (Chen, 2000). Por el *método del vértice*, la distancia entre cada alternativa y la solución ideal positiva y la solución ideal negativa se calcula como:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(p_{ij}^w, p_j^+) \quad (2.7)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(p_{ij}^w, p_j^-) \quad (2.8)$$

donde  $i = 1, \dots, m$  y  $j = 1, \dots, n$ .

Se calcula el índice de *performance* para cada alternativa como:

$$p_i = \frac{d_i^- + n - d_i^+}{2n} \quad (2.9)$$

donde  $i = 1, \dots, m$ , y  $n$  es el número de criterios. La  $p_i$  obtenida que se aproxime más a 1 será la mejor alternativa.

# Capítulo 3

## 3. Aplicación del MCDM

### 3.1. Criterios que intervienen en la toma de decisiones

La *matriz de decisión* se puede representar a partir de la siguiente tabla:

Criterios/ Alternativas	$w_1$ $c_1$	$w_2$ $c_2$	.....	$w_n$ $c_n$
$A_1$	$(a_{11}, a_{21}, a_{31})$	$(b_{11}, b_{21}, b_{31})$		
$A_2$	$(a_{12}, a_{22}, a_{32})$	$(b_{12}, b_{22}, b_{32})$		
$A_3$	$(a_{13}, a_{23}, a_{33})$	$(b_{13}, b_{23}, b_{33})$		

Tabla 3.1 Matriz de decisión

Cada fila representa una de las posibles decisiones que pueden tomar cada uno de los agentes que intervienen en el entorno (en nuestro caso los gatos y los ratones).

Estas decisiones dependen de una serie de criterios ( $c_1, c_2, \dots, c_n$ ), tantos como columnas tenga la tabla.

A continuación se entra en detalle de cada uno de los criterios que se han definido:

- Criterio 1: Tipo de agente

El primer criterio hace referencia al tipo de agente que se percibe. El peso de este criterio con respecto al resto debe ser mayor ya que condiciona mucho la alternativa. En situaciones similares tomaremos alternativas diferentes en función del tipo de agente.

Los tipos de agente que hemos definido han sido dos, *Gato* y *Ratón*, pero se podría extender si hubiera mas agentes en el entorno.

En la matriz de decisión de ambos agentes, este criterio es de *beneficio*, ya que a mayor valor mejor decisión tomaremos.

La diferencia entre ambos agentes es que en el caso del agente *Gato* la mejor decisión es que el tipo de agente sea *Ratón* y en el caso del agente *Ratón* es al contrario.

Los valores numéricos asignados a cada uno de los posibles valores de este criterio, para el caso del agente *Gato*, han sido los siguientes:

*Ratón* → 1

*Gato* → 0

Los valores numéricos asignados a cada uno de los posibles valores de este criterio, para el caso del agente *Ratón*, han sido los siguientes:

*Gato* → 1

*Ratón* → 0

Estos valores numéricos ya se encuentran normalizados en el rango [0, 1].

- Criterio 2: Orientación

El segundo criterio hace referencia a la orientación con que un agente percibe al otro.

Los valores que puede tomar este criterio son ocho:

1. *Frente*
2. *Frente derecha*
3. *Frente izquierda*
4. *Lado derecha*
5. *Lado izquierda*
6. *Espaldas derecha*
7. *Espaldas izquierda*
8. *Espaldas*

En la matriz de decisión del agente *Gato*, este criterio es de *beneficio*, siendo el mejor valor “*espaldas*” y el peor “*frente*”. El motivo es que el agente *Gato* (sin considerar el resto de criterios), tomará mejor la decisión de *perseguir* al agente *Ratón* con mayor posibilidad si este se encuentra de espaldas a él que si está de frente. Esto es porque estando de espaldas el agente *Gato* puede aproximarse sin ser visto, mientras que si el ratón percibiera al gato, con toda seguridad tomaría la decisión de *huir*.

En la matriz de decisión del agente *Ratón*, este criterio es de *coste*, siendo el mejor valor “*frente*” y el peor “*espaldas*”. El motivo es que el agente *Ratón* (sin considerar el resto de criterios), tomará mejor la decisión de *huir* si el agente *Gato* se encuentra de frente a él que si está de espaldas, ya que como ocurre con el caso del gato, si un agente está de espaldas a otro no puede percibirle.

Los valores numéricos asignados a cada uno de los posibles valores de este criterio han sido los siguientes:

1. *Frente*  $\rightarrow$  0
2. *Frente derecha*  $\rightarrow$  0.5
3. *Frente izquierda*  $\rightarrow$  0.5
4. *Lado derecha*  $\rightarrow$  1
5. *Lado izquierda*  $\rightarrow$  1
6. *Espaldas derecha*  $\rightarrow$  1.5
7. *Espaldas izquierda*  $\rightarrow$  1.5
8. *Espaldas*  $\rightarrow$  2

Para normalizar estos valores en el rango [0, 1] simplemente dividimos entre 2.

- Criterio 3: Claridad de percepción

El tercer criterio que interviene en la toma de decisiones, sigue el esquema de la figura 3.1 que representa la claridad de percepción de un agente en las distintas zonas de su *focus* o cono de visión:

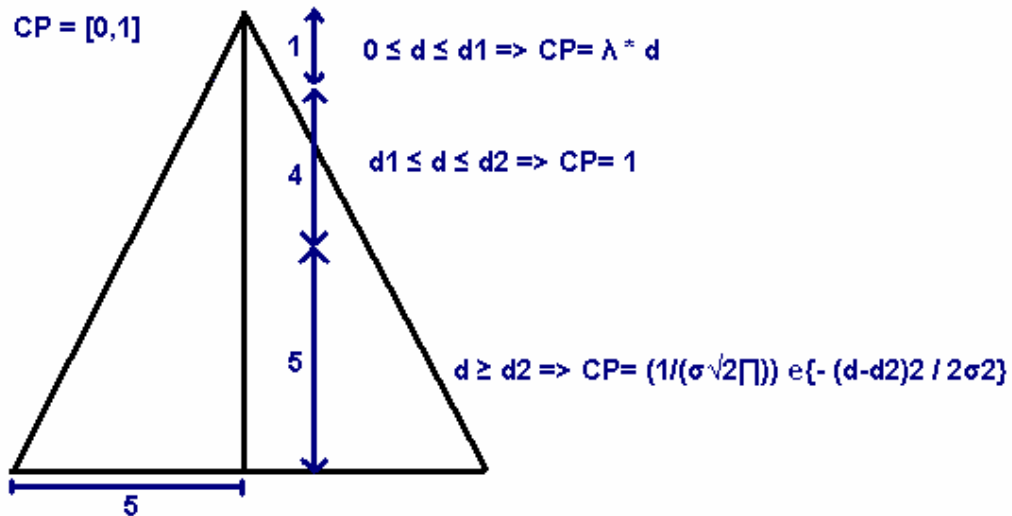


Figura 3.1 Claridad de percepción del agente dependiendo de la parte del *focus* con la que se colisione

En la región central, la claridad de percepción es máxima. Muy cerca del agente, no se percibe con tanta claridad, al igual que si nos alejamos del agente donde la claridad va disminuyendo siguiendo una curva Gaussiana.

$d1$  representa la distancia mínima entre el objeto y el ojo para que dicho objeto pueda ser percibido. Hemos tomado  $d1 = 1$ .

$d2$  representa la distancia máxima entre el objeto y el ojo para que dicho objeto pueda ser percibido con un elevado nivel de detalle. Hemos tomado  $d2 = 8$ .

Los valores de este criterio se encuentran normalizados entre [0, 1].

- Criterio 4: Distancia

El cuarto y último criterio que interviene en la toma de decisiones es la distancia. Este criterio representa la distancia entre dos agentes entre los que se ha producido al menos una intersección entre el *focus* de un agente y el *nimbus* del otro (véase Anexo I).



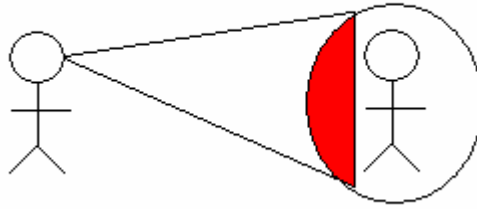


Figura 3.2 Intersección entre *focus* y *nimbus*.

Los valores que pueden tomar la distancia están dentro del rango  $[0, 15]$ .

Dado que la altura del cono es de 10, el radio de la esfera que representa el *nimbus* es de 5, y que el modelo de percepción que hemos definido considera que a partir de una intersección del 50% entre el *focus* de un agente y el *nimbus* de otro, la claridad de percepción es máxima, la distancia entre los agentes cuando uno de ellos percibe al otro con toda claridad es de 10.

Para normalizar los valores de este criterio dentro del rango  $[0, 1]$  se divide entre 15.

## 3.2. Alternativas que intervienen en la toma de decisiones

### 3.2.1. Alternativas para el agente *Gato*

Las posibles alternativas que puede tomar un agente *Gato* en función del valor de los criterios y de los pesos asignados a estos, pueden ser tres:

- Alternativa 1: *No hacer nada*.
- Alternativa 2: *Perseguir*
- Alternativa 3: *Esquivar*

En el caso de que la decisión sea *no hacer nada*, el agente seguirá con la trayectoria que estaba siguiendo a este ese momento.

En el caso de que la decisión tomada sea *perseguir*, el agente variará su trayectoria con la intención de perseguir al agente que ha percibido, y del que conoce que tipo de agente es, su orientación y la distancia a la que se encuentra.

En el caso de que la decisión tomada sea *esquivar*, el agente deberá variar su trayectoria, ya que de lo contrario se chocará con otro agente que se dirige al mismo lugar que él. Un agente *Gato* solo tomará la decisión de *esquivar* si el otro agente no es un ratón, ya que de lo contrario hubiera tomado la decisión de *perseguir*.

### **3.2.2. Alternativas para el agente *Ratón***

Las posibles alternativas que puede tomar un agente *Ratón* en función del valor de los criterios y de los pesos asignados a estos, pueden ser tres:

- Alternativa 1: *No hacer nada*.
- Alternativa 2: *Huir*
- Alternativa 3: *Esquivar*

En el caso de que la decisión sea *no hacer nada*, el agente seguirá con la trayectoria que estaba siguiendo a este ese momento.

En el caso de que la decisión tomada sea *huir*, el agente variará su trayectoria con la intención de escapar del agente que ha percibido, y del que conoce que tipo de agente es, su orientación y la distancia a la que se encuentra.

En el caso de que la decisión tomada sea *esquivar*, el agente deberá variar su trayectoria, ya que de lo contrario se chocará con otro agente que se dirige al mismo lugar que él. Un agente *Ratón* solo tomará la decisión de *esquivar* si el otro agente no es un gato, ya que de lo contrario hubiera tomado la decisión de *huir*.

## **3.3. Toma de decisiones multicriterio**

Cuando se produce la detección de una colisión entre el *focus* de un agente y el *nimbus* de otro, la información que se transmite al agente es el tipo de agente que está percibiendo,

la orientación con la que lo percibe, la claridad de percepción con que el primer agente percibe al segundo y la distancia entre ambos agentes.

Resumiendo lo anterior, los criterios y alternativas que tendrán nuestros dos tipos de agentes, *Gato* y *Ratón*, serán los que aparecen en las tablas 3.2 y 3.3, teniendo en cuenta que aunque posean la misma nomenclatura, los términos representan valores distintos:

<b>Criterios/ Alternativas</b>	<b>w<sub>1</sub> Tipo de agente</b>	<b>w<sub>2</sub> Orientación</b>	<b>w<sub>3</sub> C. de percep.</b>	<b>w<sub>4</sub> Distancia</b>
<b>No hacer nada</b>	(a <sub>11</sub> ,a <sub>21</sub> ,a <sub>31</sub> )	(b <sub>11</sub> ,b <sub>21</sub> ,b <sub>31</sub> )	(c <sub>11</sub> ,c <sub>21</sub> ,c <sub>31</sub> )	(d <sub>11</sub> ,d <sub>21</sub> ,d <sub>31</sub> )
<b>Perseguir</b>	(a <sub>12</sub> ,a <sub>22</sub> ,a <sub>32</sub> )	(b <sub>12</sub> ,b <sub>22</sub> ,b <sub>32</sub> )	(c <sub>12</sub> ,c <sub>22</sub> ,c <sub>32</sub> )	(d <sub>12</sub> ,d <sub>22</sub> ,d <sub>32</sub> )
<b>Esquivar</b>	(a <sub>13</sub> ,a <sub>23</sub> ,a <sub>33</sub> )	(b <sub>13</sub> ,b <sub>23</sub> ,b <sub>33</sub> )	(c <sub>13</sub> ,c <sub>23</sub> ,c <sub>33</sub> )	(d <sub>13</sub> ,d <sub>23</sub> ,d <sub>33</sub> )

Tabla 3.2 Tabla de decisión para el agente *Gato*

<b>Criterios/ Alternativas</b>	<b>w<sub>1</sub> Tipo de agente</b>	<b>w<sub>2</sub> Orientación</b>	<b>w<sub>3</sub> C. de percep.</b>	<b>w<sub>4</sub> Distancia</b>
<b>No hacer nada</b>	(a <sub>11</sub> ,a <sub>21</sub> ,a <sub>31</sub> )	(b <sub>11</sub> ,b <sub>21</sub> ,b <sub>31</sub> )	(c <sub>11</sub> ,c <sub>21</sub> ,c <sub>31</sub> )	(d <sub>11</sub> ,d <sub>21</sub> ,d <sub>31</sub> )
<b>Huir</b>	(a <sub>12</sub> ,a <sub>22</sub> ,a <sub>32</sub> )	(b <sub>12</sub> ,b <sub>22</sub> ,b <sub>32</sub> )	(c <sub>12</sub> ,c <sub>22</sub> ,c <sub>32</sub> )	(d <sub>12</sub> ,d <sub>22</sub> ,d <sub>32</sub> )
<b>Esquivar</b>	(a <sub>13</sub> ,a <sub>23</sub> ,a <sub>33</sub> )	(b <sub>13</sub> ,b <sub>23</sub> ,b <sub>33</sub> )	(c <sub>13</sub> ,c <sub>23</sub> ,c <sub>33</sub> )	(d <sub>13</sub> ,d <sub>23</sub> ,d <sub>33</sub> )

Tabla 3.3 Tabla de decisión para el agente *Ratón*

Cada uno de los cuatro criterios proporcionados a partir de la detección de la colisión no toma un único valor, sino tres que reciben el nombre de “*números fuzzy triangulares*”. Estos números tienen la siguiente estructura:

$$(a_1-\varepsilon, a_2, a_3+\varepsilon) \text{ siendo } a \in [0,1], a = \{a_1-\varepsilon_1, a_2, a_3+\varepsilon_2\}, \varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$$

Por tanto, el valor numérico proporcionado por cada criterio y normalizado en el rango  $[0, 1]$ , corresponde a uno de los tres números fuzzy. Los otros dos se obtendrán restando y sumando valores aleatorios a éste, tal y como se expresa a continuación:

$$a_1 = a_2 - \varepsilon_1 \in [0,1]$$

$$a_3 = a_2 + \varepsilon_2 \in [0,1]$$

Estos dos números aleatorios deben de cumplir las siguientes restricciones con respecto al valor numérico del criterio:

1. No alejarse una cantidad mayor de 0.1.

2. Uno ser menor y el otro mayor, siempre que no sobrepasen el rango [0, 1].

Cada criterio, como se ha comentado con anterioridad, lleva asociado un peso, que indica la importancia atribuida al mismo en función del valor de dicho peso. Esto es importante, ya que unos criterios son más significativos que otros a la hora de tomar las decisiones. Con lo que no sólo, cuanto mayor o menor sea el valor de los números fuzzy (dependiendo de si el criterio es de *beneficio* o *coste*, respectivamente) más influye ese criterio en la toma de la decisiones, sino que también influye el peso asignado a ese criterio.

### 3.3.1. Toma de decisiones para el agente *Gato*

A continuación mostramos la toma de decisiones del agente *Gato*:

Los cuatro criterios que intervienen en la toma de decisiones del agente *Gato*:

- Criterio 1: *Tipo de agente* (criterio de *beneficio*).
- Criterio 2: *Orientación* (criterio de *beneficio*).
- Criterio 3: *Claridad de percepción* (criterio de *beneficio*)
- Criterio 4: *Distancia* (criterio de *coste*)

El modelo para la alternativa 1 (*no hacer nada*) es {0, 0, 0, 1}

El modelo para la alternativa 2 (*perseguir*) es {1, 1, 1, 0}

El modelo para la alternativa 3 (*esquivar*) es {0, 0, 1, 0}

A continuación completamos la tabla de decisión a partir de los datos que tenemos:

<b>Criterios/ Alternativas</b>	<b>w<sub>1</sub> Tipo de agente</b>	<b>w<sub>2</sub> Orientación</b>	<b>w<sub>3</sub> C. de percep.</b>	<b>w<sub>4</sub> Distancia</b>
<b>No hacer nada</b>	$(a_{11}, a_{21}, a_{31})$	$(b_{11}, b_{21}, b_{31})$	$(c_{11}, c_{21}, c_{31})$	$(d_{11}, d_{21}, d_{31})$
<b>Perseguir</b>	$(a_{12}, a_{22}, a_{32})$	$(b_{12}, b_{22}, b_{32})$	$(c_{12}, c_{22}, c_{32})$	$(d_{12}, d_{22}, d_{32})$
<b>Esquivar</b>	$(a_{13}, a_{23}, a_{33})$	$(b_{13}, b_{23}, b_{33})$	$(c_{13}, c_{23}, c_{33})$	$(d_{13}, d_{23}, d_{33})$

Tabla 3.4 Tabla de decisión para el agente *Gato*

Con el criterio 1 (*tipo de agente*), para las alternativas 1 y 3,  $(a_{11}, a_{21}, a_{31})$  y  $(a_{13}, a_{23}, a_{33})$  se obtienen a partir de los tres números triangulares  $(a_1, a_2, a_3)$  de la siguiente forma:

$$(a_{11}, a_{21}, a_{31}) = (1-a_1, 1-a_2, 1-a_3)$$

$$(a_{13}, a_{23}, a_{33}) = (1-a_1, 1-a_2, 1-a_3)$$

Lo mismo se hace para la alternativa 2, aunque en este caso  $(a_{12}, a_{22}, a_{32})$  son  $(a_1, a_2, a_3)$ :

$$(a_{12}, a_{22}, a_{32}) = (a_1, a_2, a_3)$$

Con el criterio 2 (*orientación*), para las alternativas 1 y 3,  $(b_{11}, b_{21}, b_{31})$  y  $(b_{13}, b_{23}, b_{33})$  se obtienen a partir de los tres números triangulares  $(b_1, b_2, b_3)$  de la siguiente forma:

$$(b_{11}, b_{21}, b_{31}) = (1-b_1, 1-b_2, 1-b_3)$$

$$(b_{13}, b_{23}, b_{33}) = (1-b_1, 1-b_2, 1-b_3)$$

Lo mismo se hace para la alternativa 2, aunque en este caso  $(b_{12}, b_{22}, b_{32})$  son  $(b_1, b_2, b_3)$ :

$$(b_{12}, b_{22}, b_{32}) = (b_1, b_2, b_3)$$

Con el criterio 3 (*claridad de percepción*), para la alternativa 1,  $(c_{11}, c_{21}, c_{31})$  se obtiene a partir de los tres números triangulares  $(c_1, c_2, c_3)$  de la siguiente forma:

$$(c_{11}, c_{21}, c_{31}) = (1-c_1, 1-c_2, 1-c_3)$$

Lo mismo se hace para las alternativas 2 y 3, aunque en este caso  $(c_{12}, c_{22}, c_{32})$  y  $(c_{13}, c_{23}, c_{33})$  son  $(c_1, c_2, c_3)$ :

$$(c_{12}, c_{22}, c_{32}) = (c_1, c_2, c_3)$$

$$(c_{13}, c_{23}, c_{33}) = (c_1, c_2, c_3)$$

Con el criterio 4 (*distancia*), para la alternativa 1,  $(d_{11}, d_{21}, d_{31})$  se obtiene a partir de los tres números triangulares  $(d_1, d_2, d_3)$  de la siguiente forma:

$$(d_{11}, d_{21}, d_{31}) = (1-d_1, 1-d_2, 1-d_3)$$

Lo mismo se hace para las alternativas 2 y 3, aunque en este caso  $(d_{12}, d_{22}, d_{32})$  y  $(d_{13}, d_{23}, d_{33})$  son  $(d_1, d_2, d_3)$ :

$$(d_{12}, d_{22}, d_{32}) = (d_1, d_2, d_3)$$

$$(d_{13}, d_{23}, d_{33}) = (d_1, d_2, d_3)$$

Después debemos multiplicar cada una de las tuplas obtenidas por los pesos  $w_i$  asignados a cada criterio.

<b>Criterios/ Alternativas</b>	<b>w<sub>1</sub> Tipo de agente</b>	<b>w<sub>2</sub> Orientación</b>	<b>w<sub>3</sub> C. de percep.</b>	<b>w<sub>4</sub> Distancia</b>
<b>No hacer nada</b>	$a_1^{w_1}$	$a_2^{w_2}$	$a_3^{w_3}$	$a_4^{w_4}$
<b>Perseguir</b>	$b_1^{w_1}$	$b_2^{w_2}$	$b_3^{w_3}$	$b_4^{w_4}$
<b>Esquivar</b>	$c_1^{w_1}$	$c_2^{w_2}$	$c_3^{w_3}$	$c_4^{w_4}$

Tabla 3.5 Se multiplica cada una de las tuplas por los pesos  $w_i$  asignados a cada criterio

Siendo:  $a_1^{w_1} = (w_1a_{11}, w_1a_{21}, w_1a_{31})$

$$a_2^{w_2} = (w_2b_{11}, w_2b_{21}, w_2b_{31})$$

$$a_3^{w_3} = (w_3c_{11}, w_3c_{21}, w_3c_{31})$$

$$a_4^{w_4} = (w_4d_{11}, w_4d_{21}, w_4d_{31})$$

$$b_1^{w_1} = (w_1a_{12}, w_1a_{22}, w_1a_{32})$$

$$b_2^{w_2} = (w_2b_{12}, w_2b_{22}, w_2b_{32})$$

$$b_3^{w_3} = (w_3c_{12}, w_3c_{22}, w_3c_{32})$$

$$b_4^{w_4} = (w_4d_{12}, w_4d_{22}, w_4d_{32})$$

$$c_1^{w_1} = (w_1a_{13}, w_1a_{23}, w_1a_{33})$$

$$c_2^{w_2} = (w_2b_{13}, w_2b_{23}, w_2b_{33})$$

$$c_3^{w_3} = (w_3c_{13}, w_3c_{23}, w_3c_{33})$$

$$c_4^{w_4} = (w_4d_{13}, w_4d_{23}, w_4d_{33})$$

Una vez tenemos rellenas las tablas, calculamos  $d_i^+$  y  $d_i^-$  para cada una de las alternativas:

Para la alternativa 1:

$$d_1^+ = d(a_1^{w_1}, p^+) + d(a_2^{w_2}, p^+) + d(a_3^{w_3}, p^+) + d(a_4^{w_4}, p^+)$$

$$d_1^- = d(a_1^{w_1}, p^-) + d(a_2^{w_2}, p^-) + d(a_3^{w_3}, p^-) + d(a_4^{w_4}, p^-)$$

Para la alternativa 2:

$$d_2^+ = d(b_1^{w_1}, p^+) + d(b_2^{w_2}, p^+) + d(b_3^{w_3}, p^+) + d(b_4^{w_4}, p^+)$$

$$d_2^- = d(b_1^{w_1}, p^-) + d(b_2^{w_2}, p^-) + d(b_3^{w_3}, p^-) + d(b_4^{w_4}, p^-)$$

Para la alternativa 3:

$$d_3^+ = d(c_1^{w_1}, p^+) + d(c_2^{w_2}, p^+) + d(c_3^{w_3}, p^+) + d(c_4^{w_4}, p^+)$$

$$d_3^- = d(c_1^{w_1}, p^-) + d(c_2^{w_2}, p^-) + d(c_3^{w_3}, p^-) + d(c_4^{w_4}, p^-)$$

siendo:  $d(x, y) = \{[(x_1-y_1)^2 + (x_2-y_2)^2 + (x_3-y_3)^2]/3\}^{1/2}$

$p^+ = \{1, 1, 1\}$  si el criterio es de *beneficio*

$p^- = \{0, 0, 0\}$  si el criterio es de *beneficio*

$p^+ = \{0, 0, 0\}$  si el criterio es de *coste*

$p^- = \{1, 1, 1\}$  si el criterio es de *coste*

Después, calculamos  $p^i$  (siendo  $i$  el número de alternativas) de la siguiente forma:

$$p^1 = (d_1^- + c - d_1^+) / 2c$$

$$p^2 = (d_2^- + c - d_2^+) / 2c$$

$$p^3 = (d_3^- + c - d_3^+) / 2c$$

siendo  $c$  el número de criterios (4 en nuestro caso).

La decisión de qué alternativa tomar será la que corresponda al  $p^i$  más próximo a uno:

$$\min\{|p^1-1|, |p^2-1|\}$$

### 3.3.2. Toma de decisiones para el agente *Ratón*

Las diferencias con respecto a la toma de decisiones del agente *Gato* hacen referencia a los tipos de los criterios que intervienen (beneficio y coste) y los modelos de alternativa para cada una de ellas.

Los cuatro criterios que intervienen en la toma de decisiones del agente *Ratón*:

- Criterio 1: *Tipo de agente* (criterio de *beneficio*).
- Criterio 2: *Orientación* (criterio de *coste*).
- Criterio 3: *Claridad de percepción* (criterio de *beneficio*)
- Criterio 4: *Distancia* (criterio de *coste*)

El modelo para la alternativa 1 (*no hacer nada*) es  $\{0, 1, 0, 1\}$

El modelo para la alternativa 2 (*huir*) es  $\{1, 0, 1, 0\}$

El modelo para la alternativa 3 (*esquivar*) es  $\{0, 0, 1, 0\}$

A continuación completamos la tabla de decisión a partir de los datos que tenemos:

<b>Criterios/ Alternativas</b>	<b>w<sub>1</sub> Tipo de agente</b>	<b>w<sub>2</sub> Orientación</b>	<b>w<sub>3</sub> C. de percep.</b>	<b>w<sub>4</sub> Distancia</b>
<b>No hacer nada</b>	$(a_{11}, a_{21}, a_{31})$	$(b_{11}, b_{21}, b_{31})$	$(c_{11}, c_{21}, c_{31})$	$(d_{11}, d_{21}, d_{31})$
<b>Huir</b>	$(a_{12}, a_{22}, a_{32})$	$(b_{12}, b_{22}, b_{32})$	$(c_{12}, c_{22}, c_{32})$	$(d_{12}, d_{22}, d_{32})$
<b>Esquivar</b>	$(a_{13}, a_{23}, a_{33})$	$(b_{13}, b_{23}, b_{33})$	$(c_{13}, c_{23}, c_{33})$	$(d_{13}, d_{23}, d_{33})$

Tabla 3.6 Tabla de decisión para el agente *Ratón*

Con el criterio 1 (*tipo de agente*), para las alternativas 1 y 3,  $(a_{11}, a_{21}, a_{31})$  y  $(a_{13}, a_{23}, a_{33})$  se obtienen a partir de los tres números triangulares  $(a_1, a_2, a_3)$  de la siguiente forma:

$$(a_{11}, a_{21}, a_{31}) = (1-a_1, 1-a_2, 1-a_3)$$

$$(a_{13}, a_{23}, a_{33}) = (1-a_1, 1-a_2, 1-a_3)$$

Lo mismo se hace para la alternativa 2, aunque en este caso  $(a_{12}, a_{22}, a_{32})$  son  $(a_1, a_2, a_3)$ :

$$(a_{12}, a_{22}, a_{32}) = (a_1, a_2, a_3)$$

Con el criterio 2 (*orientación*), para las alternativas 1,  $(b_{11}, b_{21}, b_{31})$  se obtienen a partir de los tres números triangulares  $(b_1, b_2, b_3)$  de la siguiente forma:

$$(b_{11}, b_{21}, b_{31}) = (1-b_1, 1-b_2, 1-b_3)$$

Lo mismo se hace para las alternativas 2 y 3, aunque en este caso  $(b_{12}, b_{22}, b_{32})$  y  $(b_{13}, b_{23}, b_{33})$  son  $(b_1, b_2, b_3)$ :

$$(b_{12}, b_{22}, b_{32}) = (b_1, b_2, b_3)$$

$$(b_{13}, b_{23}, b_{33}) = (b_1, b_2, b_3)$$

Con el criterio 3 (*claridad de percepción*), para la alternativa 1,  $(c_{11}, c_{21}, c_{31})$  se obtiene a partir de los tres números triangulares  $(c_1, c_2, c_3)$  de la siguiente forma:

$$(c_{11}, c_{21}, c_{31}) = (1-c_1, 1-c_2, 1-c_3)$$

Lo mismo se hace para las alternativas 2 y 3, aunque en este caso  $(c_{12}, c_{22}, c_{32})$  y  $(c_{13}, c_{23}, c_{33})$  son  $(c_1, c_2, c_3)$ :

$$(c_{12}, c_{22}, c_{32}) = (c_1, c_2, c_3)$$

$$(c_{13}, c_{23}, c_{33}) = (c_1, c_2, c_3)$$

Con el criterio 4 (*distancia*), para la alternativa 1,  $(d_{11}, d_{21}, d_{31})$  se obtiene a partir de los tres números triangulares  $(d_1, d_2, d_3)$  de la siguiente forma:

$$(d_{11}, d_{21}, d_{31}) = (1-d_1, 1-d_2, 1-d_3)$$



Lo mismo se hace para las alternativas 2 y 3, aunque en este caso  $(d_{12}, d_{22}, d_{32})$  y  $(d_{13}, d_{23}, d_{33})$  son  $(d_1, d_2, d_3)$ :

$$(d_{12}, d_{22}, d_{32}) = (d_1, d_2, d_3)$$

$$(d_{13}, d_{23}, d_{33}) = (d_1, d_2, d_3)$$

Después debemos multiplicar cada una de las tuplas obtenidas por los pesos  $w_i$  asignados a cada criterio.

<b>Criterios/ Alternativas</b>	<b><math>w_1</math> Tipo de agente</b>	<b><math>w_2</math> Orientación</b>	<b><math>w_3</math> C. de percep.</b>	<b><math>w_4</math> Distancia</b>
<b>No hacer nada</b>	$a_1^{w_1}$	$a_2^{w_2}$	$a_3^{w_3}$	$a_4^{w_4}$
<b>Huir</b>	$b_1^{w_1}$	$b_2^{w_2}$	$b_3^{w_3}$	$b_4^{w_4}$
<b>Esquivar</b>	$c_1^{w_1}$	$c_2^{w_2}$	$c_3^{w_3}$	$c_4^{w_4}$

Tabla 3.7 Se multiplica cada tupla obtenida por los pesos  $w_i$  asignados a cada criterio

Siendo:  $a_1^{w_1} = (w_1a_{11}, w_1a_{21}, w_1a_{31})$

$$a_2^{w_2} = (w_2b_{11}, w_2b_{21}, w_2b_{31})$$

$$a_3^{w_3} = (w_3c_{11}, w_3c_{21}, w_3c_{31})$$

$$a_4^{w_4} = (w_4d_{11}, w_4d_{21}, w_4d_{31})$$

$$b_1^{w_1} = (w_1a_{12}, w_1a_{22}, w_1a_{32})$$

$$b_2^{w_2} = (w_2b_{12}, w_2b_{22}, w_2b_{32})$$

$$b_3^{w_3} = (w_3c_{12}, w_3c_{22}, w_3c_{32})$$

$$b_4^{w_4} = (w_4d_{12}, w_4d_{22}, w_4d_{32})$$

$$c_1^{w_1} = (w_1a_{13}, w_1a_{23}, w_1a_{33})$$

$$c_2^{w_2} = (w_2b_{13}, w_2b_{23}, w_2b_{33})$$

$$c_3^{w_3} = (w_3c_{13}, w_3c_{23}, w_3c_{33})$$

$$c_4^{w_4} = (w_4d_{13}, w_4d_{23}, w_4d_{33})$$

Una vez tenemos rellenas las tablas, calculamos  $d_i^+$  y  $d_i^-$  para cada una de las alternativas:

Para la alternativa 1:

$$d_1^+ = d(a_1^{w_1}, p^+) + d(a_2^{w_2}, p^+) + d(a_3^{w_3}, p^+) + d(a_4^{w_4}, p^+)$$

$$d_1^- = d(a_1^{w_1}, p^-) + d(a_2^{w_2}, p^-) + d(a_3^{w_3}, p^-) + d(a_4^{w_4}, p^-)$$

Para la alternativa 2:

$$d_2^+ = d(b_1^{w1}, p^+) + d(b_2^{w2}, p^+) + d(b_3^{w3}, p^+) + d(b_4^{w4}, p^+)$$
$$d_2^- = d(b_1^{w1}, p^-) + d(b_2^{w2}, p^-) + d(b_3^{w3}, p^-) + d(b_4^{w4}, p^-)$$

Para la alternativa 3:

$$d_3^+ = d(c_1^{w1}, p^+) + d(c_2^{w2}, p^+) + d(c_3^{w3}, p^+) + d(c_4^{w4}, p^+)$$
$$d_3^- = d(c_1^{w1}, p^-) + d(c_2^{w2}, p^-) + d(c_3^{w3}, p^-) + d(c_4^{w4}, p^-)$$

siendo:  $d(x, y) = \{[(x_1-y_1)^2 + (x_2-y_2)^2 + (x_3-y_3)^2]/3\}^{1/2}$

$$p^+ = \{1, 1, 1\} \text{ si el criterio es de } \textit{beneficio}$$

$$p^- = \{0, 0, 0\} \text{ si el criterio es de } \textit{beneficio}$$

$$p^+ = \{0, 0, 0\} \text{ si el criterio es de } \textit{coste}$$

$$p^- = \{1, 1, 1\} \text{ si el criterio es de } \textit{coste}$$

Después, calculamos  $p^i$  (siendo  $i$  el número de alternativas) de la siguiente forma:

$$p^1 = (d_1^- + c - d_1^+) / 2c$$

$$p^2 = (d_2^- + c - d_2^+) / 2c$$

$$p^3 = (d_3^- + c - d_3^+) / 2c$$

siendo  $c$  el número de criterios (4 en nuestro caso).

La decisión de qué alternativa tomar será la que corresponda al  $p^i$  más próximo a uno:

$$\min\{|p^1-1|, |p^2-1|\}$$

# Capítulo 4

## 4. Análisis de resultados

A continuación se muestran los experimentos realizados sobre los agentes *Gato* y *Ratón*. Los experimentos han consistido en representar diferentes situaciones que se pueden dar en el entorno virtual creado para mostrar el comportamiento de los agentes, y ver las decisiones que tomaban.

Para cada experimento, se han realizado 20 iteraciones con los mismos valores de entrada para cada criterio. Con ello se pretende observar que en función de los valores de los criterios, unas veces la decisión tomada será determinista, pero esto no tiene por qué ocurrir siempre.

Los experimentos siguientes pretenden representar situaciones en las que la decisión tomada se conoce de antemano, y ver si efectivamente, la decisión en base a la teoría MCDM se corresponde. En los experimentos cuya solución no es determinista, se explica cual es el motivo por el que esto ocurre, que no es otro que los valores que toman algunos de los criterios no se aproximan hacia una decisión en concreto, lo que sumado a la incertidumbre creada por los números triangulares fuzzy, desencadena en decisiones diferentes para los mismos valores de las entradas.

Todos los experimentos se han realizado con los mismos valores para los pesos, tal y como se refleja en la tabla 4.1. El hecho de fijar los pesos de antemano es debido a que el objetivo del análisis no es el estudio de los pesos.

	<b>Tipo de agente</b>	<b>Orientación</b>	<b>Claridad de percep.</b>	<b>Distancia</b>
<b>Pesos</b>	0.4	0.2	0.2	0.2

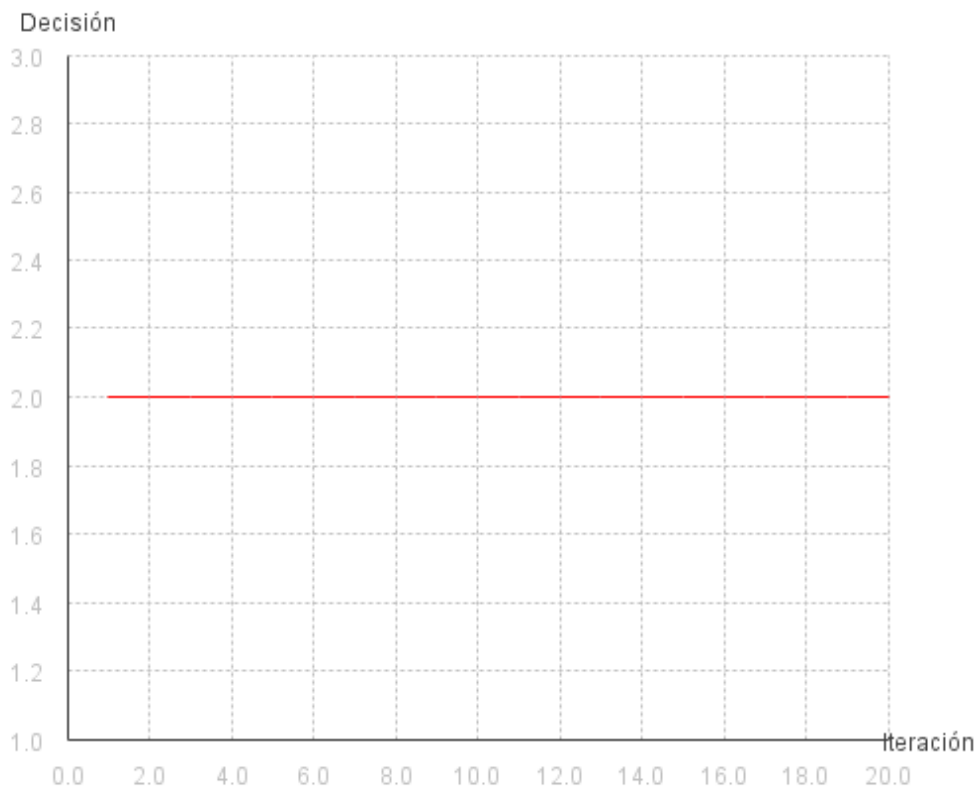
Tabla 4.1 Valores de los pesos para los experimentos

## 4.1. Resultados obtenidos con la toma de decisiones del agente *Gato*

- Experimento G1:

	Tipo de agente	Orientación	Claridad de percep.	Distancia
Criterios	Ratón	Frente	0.5	10

Tabla 4.2 Valores de los criterios y pesos del experimento G1



**■ Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = perseguir, 3 = esquivar**

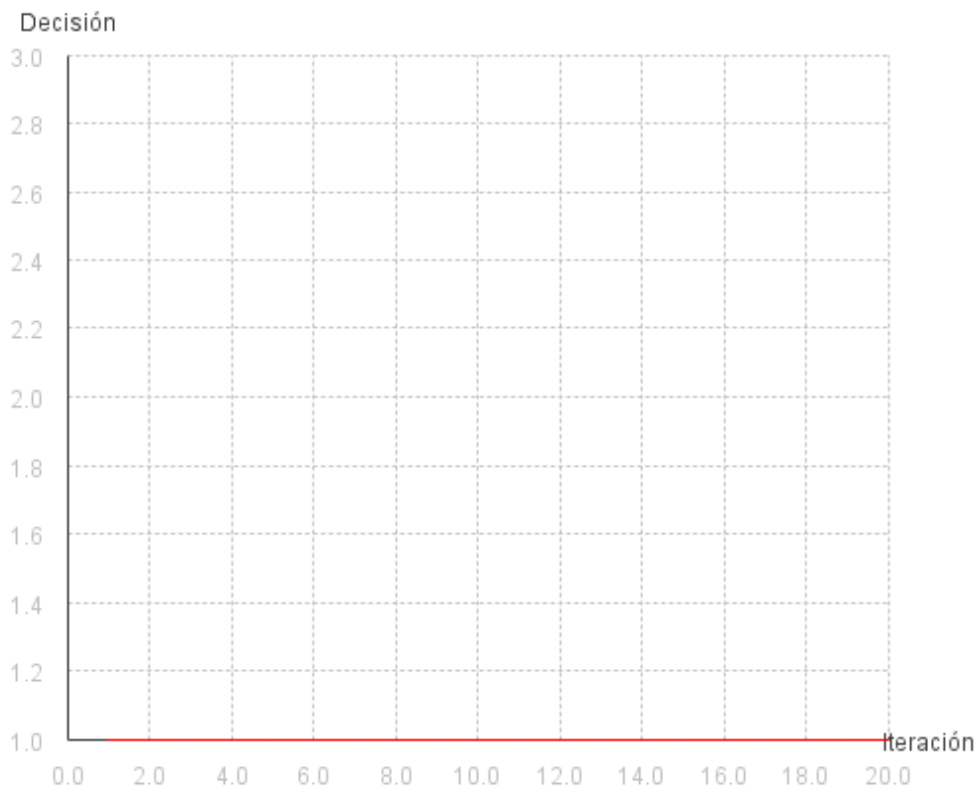
Figura 4.1 Decisiones tomadas para el experimento G1

Como podemos ver en la figura 4.1, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la decisión ha sido la de *perseguir* al ratón en todos los casos. Para tomar esta decisión ha sido relevante el hecho de que el agente observado era un ratón a pesar de que la claridad de percepción era del 50% y el agente *Gato* se encontraba de frente al gato. Esto es debido a que el peso asociado al criterio *tipo de agente* es del doble que el resto de criterios.

- Experimento G2:

	<b>Tipo de agente</b>	<b>Orientación</b>	<b>Claridad de percep.</b>	<b>Distancia</b>
<b>Criterios</b>	Ratón	Frente	0.0	15

Tabla 4.3 Valores de los criterios y pesos del experimento G2



**■ Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = perseguir, 3 = esquivar**

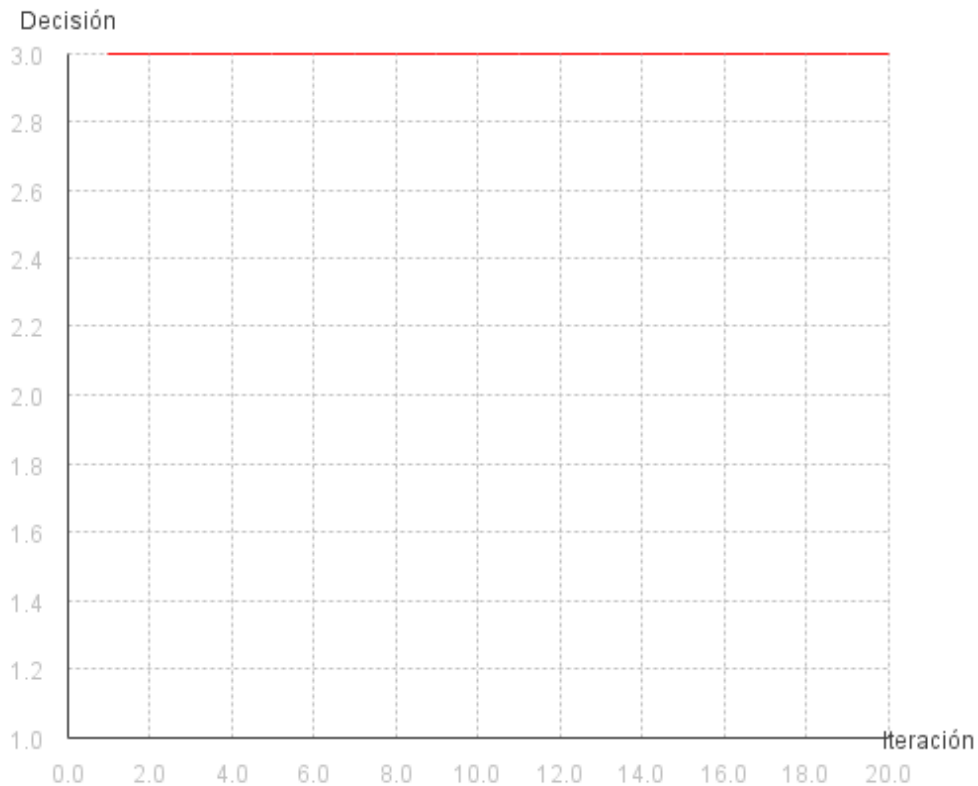
Figura 4.2 Decisiones tomadas para el experimento G2

Como podemos ver en la figura 4.2, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la decisión ha sido la de *no hacer nada* en todos los casos. Para tomar esta decisión ha sido relevante el hecho de que el agente observado no era percibido con claridad.

- Experimento G3:

	Tipo de agente	Orientación	Claridad de percep.	Distancia
Criterios	Gato	Frente	1.0	5

Tabla 4.4 Valores de los criterios y pesos del experimento G3



**■ Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = perseguir, 3 = esquivar**

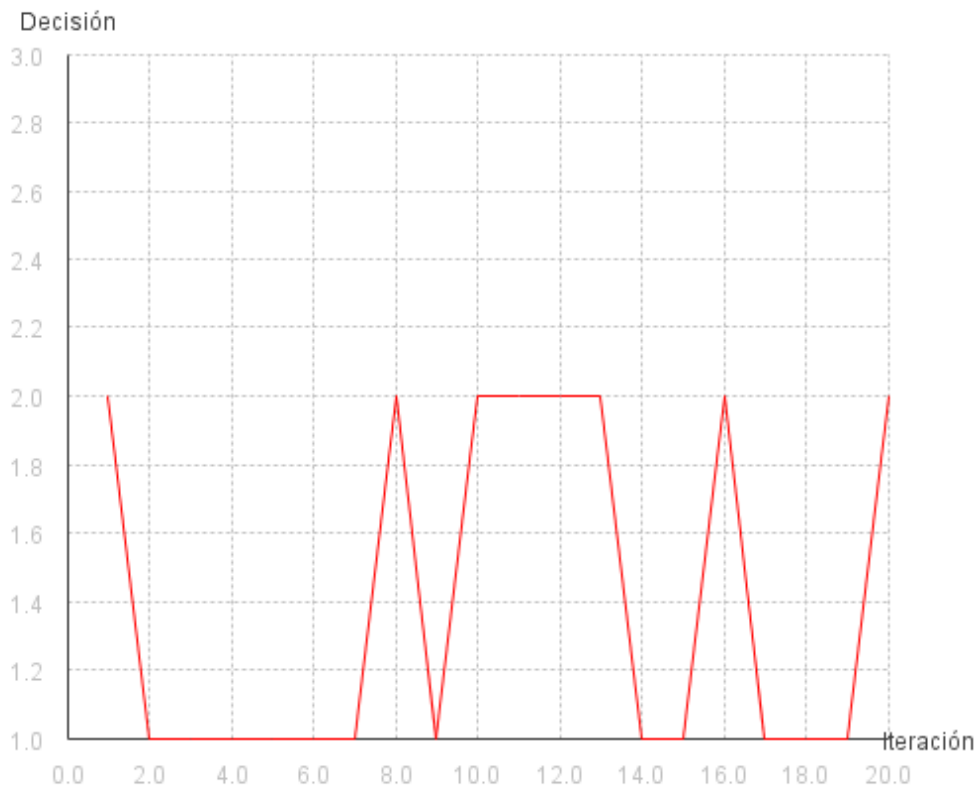
Figura 4.3 Decisiones tomadas para el experimento G3

Como podemos ver en la figura 4.3, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la decisión ha sido *esquivar*. Ha influido en esta decisión que el tipo de agente observado fuera un gato, y que la claridad de percepción fuera máxima.

- Experimento G4

	Tipo de agente	Orientación	Claridad de percep.	Distancia
Criterios	Ratón	Frente	0.0000037	7

Tabla 4.5 Valores de los criterios y pesos del experimento G4



**■ Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = perseguir, 3 = esquivar**

Figura 4.4 Decisiones tomadas para el experimento G4

Como podemos ver en la figura 4.4, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la toma de decisiones no es determinista. De las 20 iteraciones realizadas, en 12 la decisión tomada es *no hacer nada*, mientras que en 8 es *perseguir*. El motivo por el que la decisión no es determinista se debe a que los valores que toman algunos de los criterios no se aproximan hacia una decisión en concreto, lo que sumado a la incertidumbre creada por los números triangulares fuzzy, desencadena en decisiones diferentes para los mismos valores de las entradas. En la práctica, esto es debido en gran parte a que la distancia al otro agente es grande y por tanto la claridad con la que lo percibe es muy pequeña. El hecho de que además el agente que está percibiendo se encuentre de frente a él, influye para que la toma de decisiones se guíe hacia la decisión de no hacer nada en la mayoría de los casos, en vez de perseguir al agente que está percibiendo.

- Experimento G5:

	Tipo de agente	Orientación	Claridad de percep.	Distancia
<b>Criterios</b>	Gato	Frente	0.387	5.55

Tabla 4.6 Valores de los criterios y pesos del experimento G5



**Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = perseguir, 3 = esquivar**

Figura 4.5 Decisiones tomadas para el experimento G5

Como podemos ver en la figura 4.5, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la toma de decisiones no es determinista. En la mayoría de los casos la decisión tomada es *esquivar*, mientras que en 4 de las 20 iteraciones, la decisión es *no hacer nada*. El motivo por el que la decisión no es determinista se debe a que los valores que toman algunos de los criterios no se aproximan hacia una decisión en concreto, lo que sumado a la incertidumbre creada por los números triangulares fuzzy, desencadena en decisiones diferentes para los mismos valores de las entradas. En la práctica, podemos



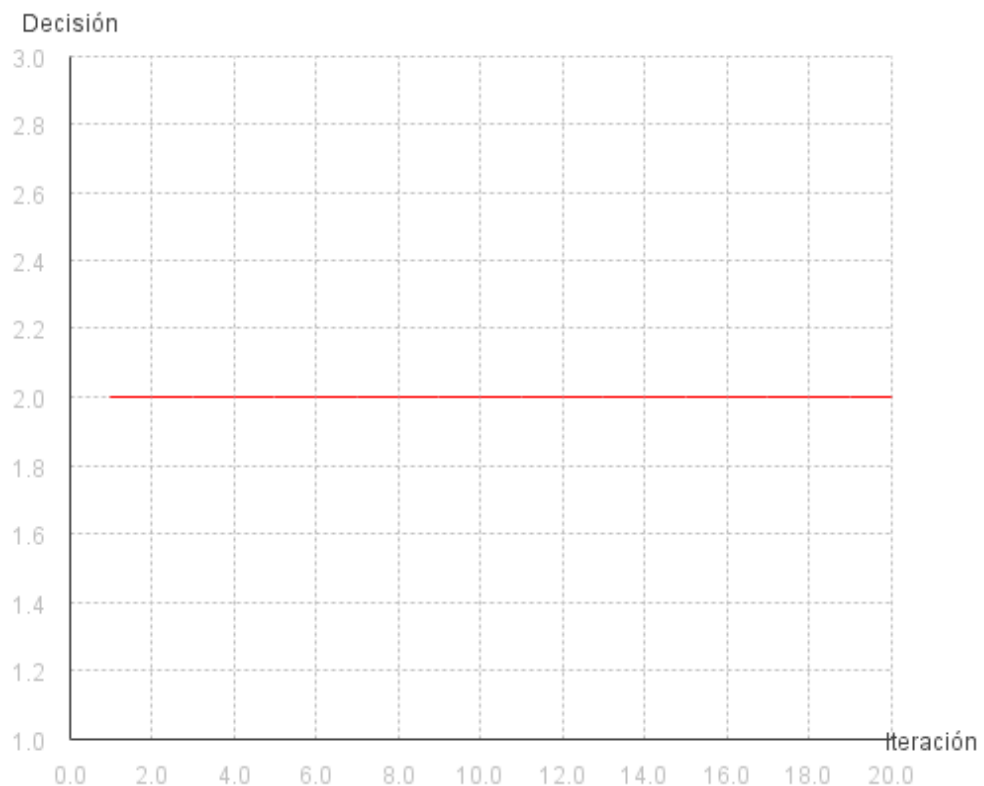
apreciar que con una claridad de percepción próxima al 40%, el agente sabe que está percibiendo un agente del mismo tipo, y que este viene de frente a él, pero como la distancia no es todavía ni muy próxima para esquivarle, ni muy lejana para no hacer nada, se produce la situación que hemos representado en este experimento.

## 4.2. Resultados obtenidos con la toma de decisiones del agente *Ratón*

- Experimento R1:

	Tipo de agente	Orientación	Claridad de percep.	Distancia
<b>Criterios</b>	Gato	Frente	1.0	5

Tabla 4.7 Valores de los criterios y pesos del experimento R1



**■ Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = huir, 3 = esquivar**

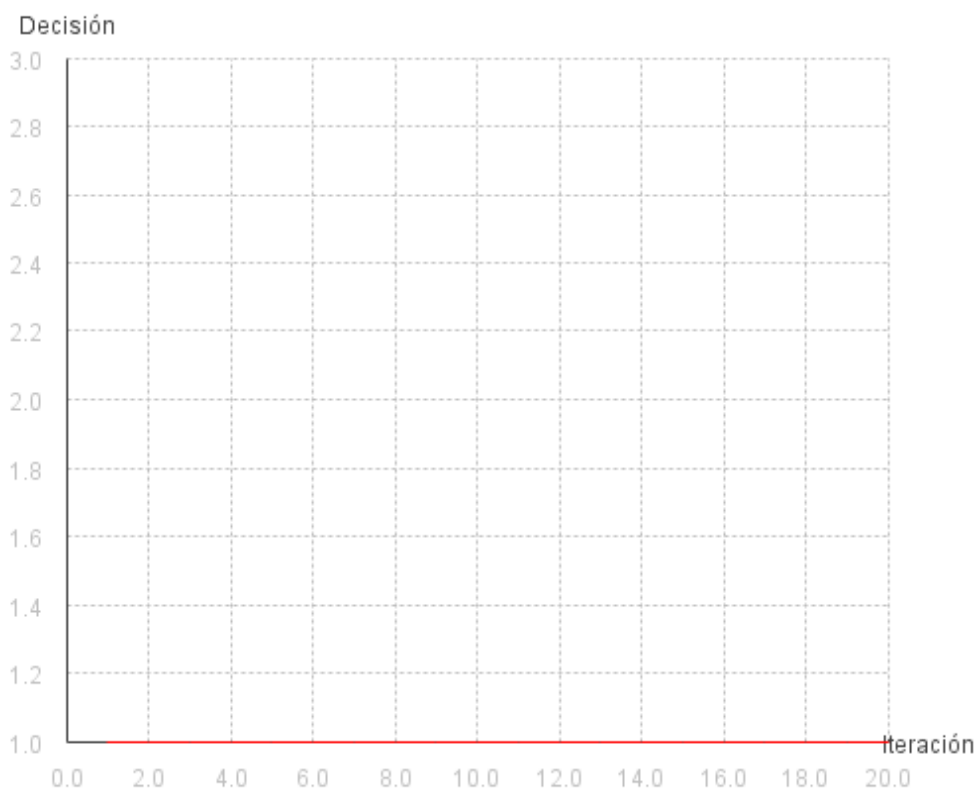
Figura 4.6 Decisiones tomadas para el experimento R1

Como podemos ver en la figura 4.6, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la decisión ha sido la de *huir* del gato en todos los casos. Para tomar esta decisión ha sido relevante el hecho de que el agente observado era un gato, la claridad de percepción era máxima y el agente *Gato* se encontraba de frente al ratón.

- Experimento R2:

	Tipo de agente	Orientación	Claridad de percep.	Distancia
<b>Criterios</b>	Gato	Espaldas	0.0	15

Tabla 4.8 Valores de los criterios y pesos del experimento R2



**Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = huir, 3 = esquivar**

Figura 4.7 Decisiones tomadas para el experimento R2

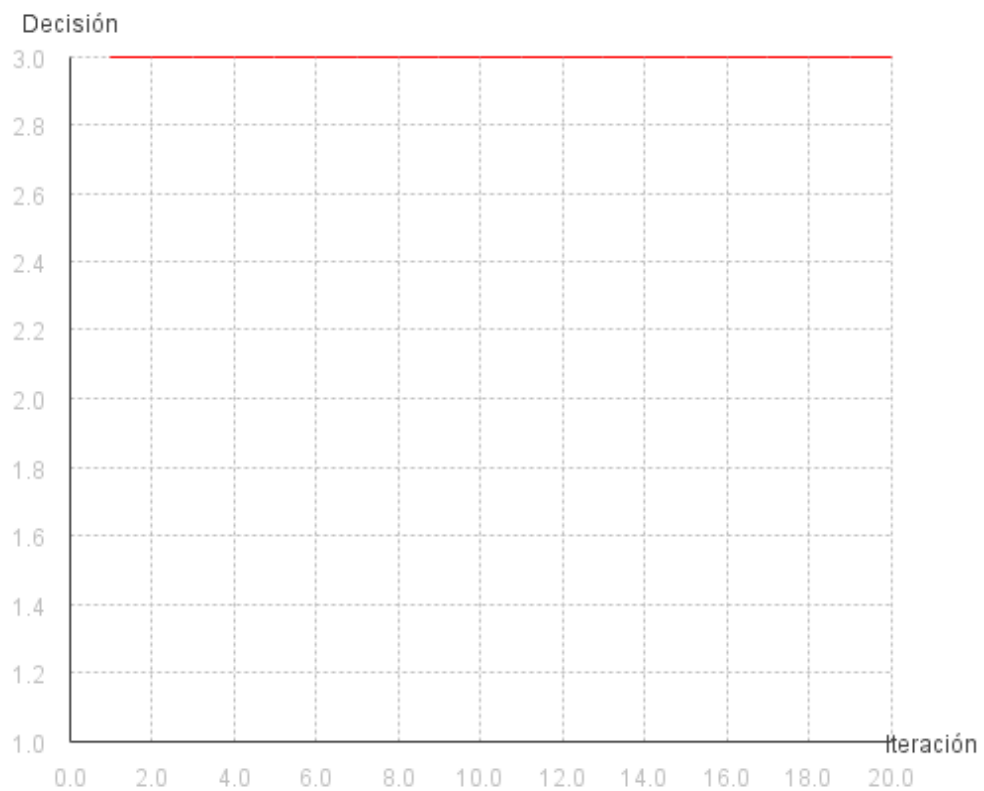
Como podemos ver en la figura 4.7, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la decisión ha sido la de *no hacer nada* en todos los casos. Ha

influido en esta decisión, el hecho de que la distancia a la que se encontraba el agente *Gato* era máxima, con lo que la claridad de percepción era nula. En la práctica, el ratón no ve al gato, con lo que la decisión lógica era no hacer nada.

- Experimento R3:

	Tipo de agente	Orientación	Claridad de percep.	Distancia
Criterios	Ratón	Frente	1.0	5

Tabla 4.9 Valores de los criterios y pesos del experimento R3



**■ Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = huir, 3 = esquivar**

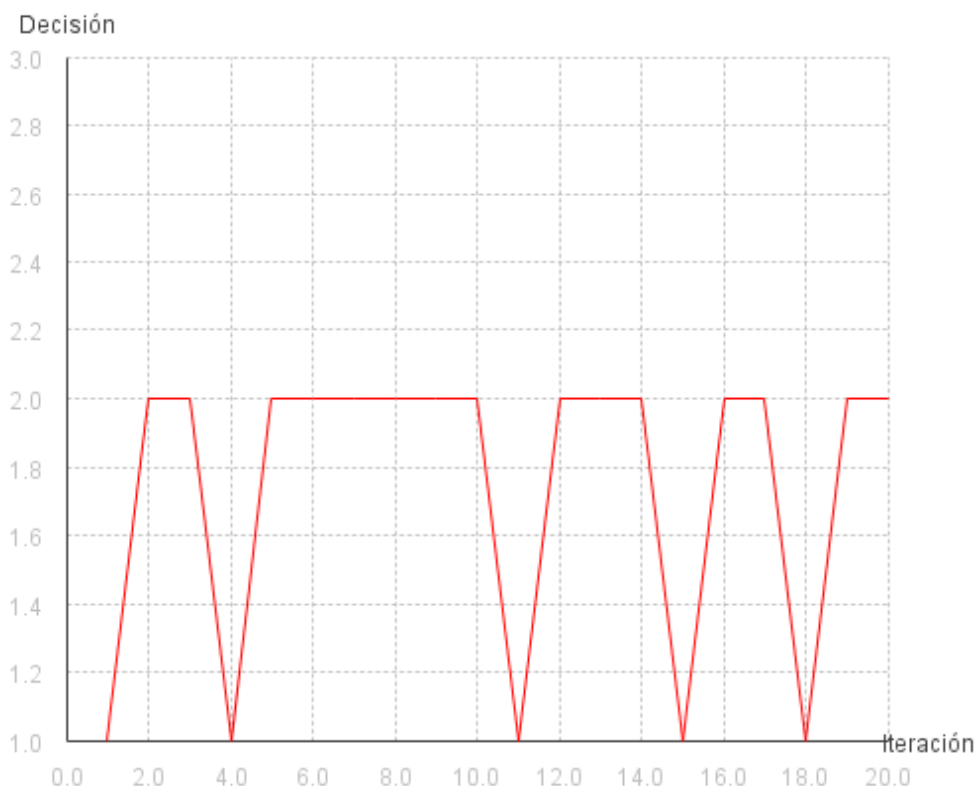
Figura 4.8 Decisiones tomadas para el experimento R3

Como podemos ver en la figura 4.8, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la decisión ha sido la de *esquivar* en todos los casos. Ha influido en esta decisión el hecho de que un agente *Ratón* se encuentra muy próximo y dirigiéndose hacia él, con lo que la decisión que se ha tomado era la esperada.

- Experimento R4:

	<b>Tipo de agente</b>	<b>Orientación</b>	<b>Claridad de percep.</b>	<b>Distancia</b>
<b>Criterios</b>	Gato	Espaldas	0.00218	6.4

Tabla 4.10 Valores de los criterios y pesos del experimento R4



**■ Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = huir, 3 = esquivar**

Figura 4.9 Decisiones tomadas para el experimento R4

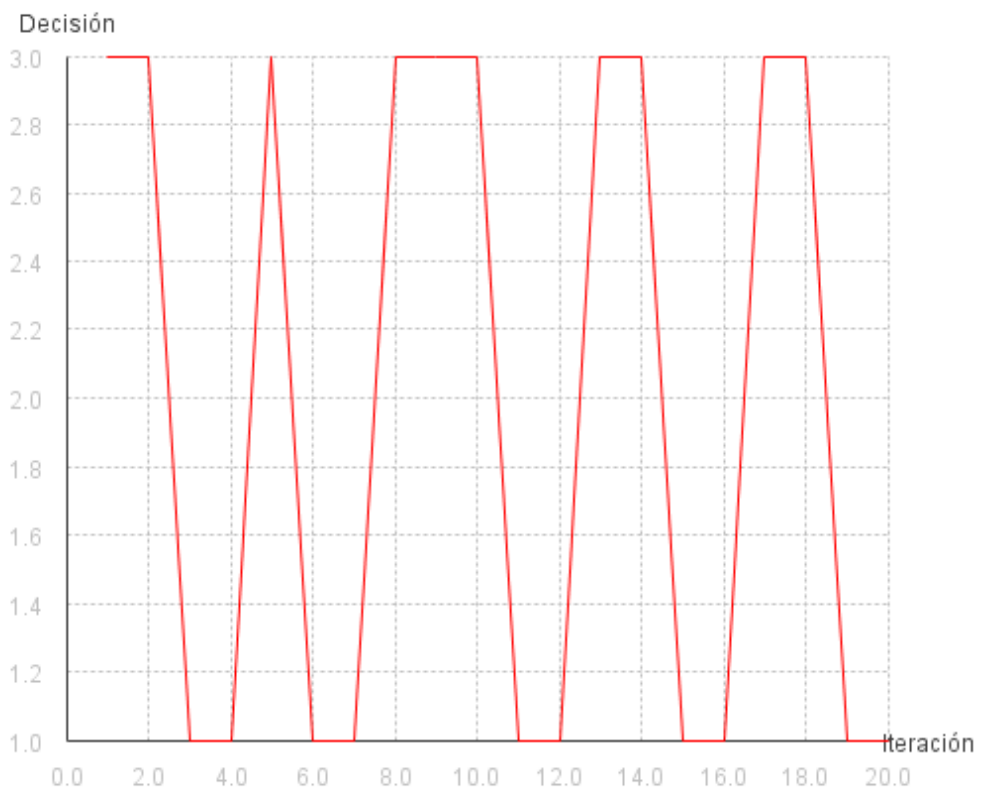
Como podemos ver en la figura 4.9, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la toma de decisiones no es determinista. De las 20 iteraciones realizadas, en 15 la decisión tomada es *huir*, mientras que en 5 es *no hacer nada*. El motivo por el que la decisión no es determinista se debe a que los valores que toman algunos de los criterios no se aproximan hacia una decisión en concreto, lo que sumado a la incertidumbre creada por los números triangulares fuzzy, desencadena en decisiones diferentes para los mismos valores de las entradas. En la práctica, esto es debido en gran

parte a que la orientación del agente con respecto al ratón es de espaldas a él, con lo que el ratón no está siendo percibido. Además, el hecho de que la claridad con la que percibe al otro agente sea próxima a cero influye para que la toma de decisiones se guíe hacia la decisión de *no hacer nada* en el 25% de los casos, en vez de huir del agente que sería lo más lógico, en parte debido, al peso asociado al criterio *tipo de agente* que es el doble que el resto.

- Experimento R5:

	Tipo de agente	Orientación	Claridad de percep.	Distancia
<b>Criterios</b>	Gato	Frente	0.0000037	7

Tabla 4.11 Valores de los criterios y pesos del experimento R5



**■ Decisiones tomadas. 1 = no hacer nada, 2 = huir, 3 = esquivar**

Figura 4.10 Decisiones tomadas para el experimento R5

Como podemos ver en la figura 4.10, para los valores de los criterios introducidos y los pesos asignados a ellos, la toma de decisiones no es determinista. En las 20 iteraciones que se muestran, 10 veces se tomó la decisión *esquivar*, y en 10 la decisión fue *no hacer nada*. El motivo por el que la decisión no es determinista se debe a que los valores que toman algunos de los criterios no se aproximan hacia una decisión en concreto, lo que sumado a la incertidumbre creada por los números triangulares fuzzy, desencadena en decisiones diferentes para los mismos valores de las entradas. En la practica, podemos ver que a pesar de que el agente *Ratón* percibe con una claridad próxima a cero, sabe que está percibiendo un agente del mismo tipo, y que este viene de frente a él, pero como la distancia no es todavía ni muy próxima para esquivarle, ni muy lejana para no hacer nada, se produce esta situación que hemos representado en este experimento.

# Capítulo 5

## 5. Conclusiones

El análisis multicriterio es una metodología de toma de decisiones que se ha impuesto como la idónea en multitud de campos de aplicación. El importante subcaso en el que hay que decidir entre varias alternativas, desde unas pocas a algunos centenares, teniendo en cuenta diversos criterios o puntos de vista, surge frecuentemente. A este tipo de problemas se dedica la llamada Decisión Multicriterio, cuyo grado de madurez científica está ya hoy sólidamente establecido.

El objetivo fundamental de este trabajo ha sido el análisis y comportamiento del método basado en la teoría MCDM bajo la perspectiva de la lógica fuzzy.

La aportación fundamental estriba en la adaptación de dicha teoría para este tipo de entornos. Las decisiones en simulación se basan en criterios establecidos de antemano por un supervisor, con lo que las decisiones suelen ser deterministas. Con la propuesta llevada a cabo, las variables de decisión adquieren un carácter marcadamente aleatorio, perdiendo significativamente las decisiones su carácter determinista.

Con el fin de verificar la eficacia de esta teoría se ha diseñado un entorno de simulación propio lo más sencillo posible, con el fin de que éste no enmascarase los resultados producidos por el MCDM. Se han analizado los resultados en el capítulo 4, mostrando la eficacia del método propuesto para este tipo de entornos.

Como se ha mencionado en la introducción, suele ser una práctica habitual en simulación la toma de decisiones en base a un sistema de reglas donde los diferentes criterios se combinan convenientemente. Bajo esta perspectiva, la verificación de los resultados obtenidos mediante el MCDM son fácilmente comprobables en base a que el

supervisor del sistema tiene conocimiento a priori de las decisiones que se pueden tomar durante la simulación. No obstante, debido a la aleatoriedad introducida en el sistema favorecido por la MCDM existirán decisiones en las que no exista esta coincidencia, siendo en cualquier caso justificable la decisión del sistema frente a la decisión del supervisor por el conocimiento de éste sobre el sistema.

El planteamiento que se hace sobre el entorno desarrollado en el que se simulan las situaciones descritas en el presente trabajo, resulta fácilmente extensible a entornos con un mayor número de agentes sin más que incrementar o modificar las variables de decisión e incluso los propios criterios.

## **5.1. Cumplimiento de los objetivos propuestos**

Respecto de los objetivos planteados inicialmente cabe realizar las siguientes consideraciones.

Inicialmente se planteaba como uno de los objetivos el estudio de métodos de decisión existentes en la literatura. Si bien, debido al inicio del trabajo en el marco de la toma de decisiones para entornos de simulación dentro del proyecto mencionado en la introducción (Sección 1.1.2) con la empresa EADS-Casa, la mayor parte del estudio bibliográfico estaba ya realizado, y en el marco de este trabajo lo que se ha hecho ha sido una revisión, estudio y actualización de la misma. Con esto quedaría cubierto el estudio de diversas alternativas. Respecto de la identificación de métodos nos referimos a las conclusiones derivadas de los trabajos previos.

Con los dos objetivos previos se cumple indirectamente el primero de los propuestos relativos al manejo de las fuentes bibliográficas.

Finalmente, el cuarto objetivo previsto relativo al comportamiento del MCDM ha sido básicamente el objeto de este trabajo.



## 5.2. Trabajos futuros

- Ampliación a mayor número de criterios y alternativas.
- Aprendizaje automático de los pesos. Utilizando ID3 por ejemplo.
- Coordinación entre los agentes presentes en el entorno desarrollado. Podría hacerse sin más que añadir más variables de decisión.
- Aplicación de la teoría MCDM en otros campos (dentro y fuera de la simulación)

Actualmente existe, dentro del grupo de investigación y bajo la dirección del director de este trabajo, un proyecto de investigación titulado “Análisis estereoscópico y reconocimiento de texturas en imágenes forestales obtenidas mediante dispositivo de medición MU-200501738”, con referencia INIA-445/2007 y al amparo del artículo 83 de la LOU, con el Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroalimentaria en colaboración también con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid. Este proyecto incluye entre otras técnicas la de reconocimiento de texturas que implican la utilización de técnicas de decisión. Está prevista la aplicación del MCDM en este contexto.



## 6. Bibliografía

Benford, S. D., y Fahlén, L. E., "A Spatial Model of Interaction in Large Virtual Environments". Procedente de la tercera conferencia europea sobre Computer Supported Cooperative Work (ECSCW'93). Milán. Italia. Kluwer Academic Publishers, pp.109-124, 1993.

Benford, S. y col. "User Embodiment in Collaborative Virtual Environments". Procedente de la conferencia ACM sobre Human Factors in Computing Systems (CHI'95). Denver. Colorado, EEUU, pp.242-249, 1995.

Chen, C.T., Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems* 114 (2000) 1-9.

Chim, Y. C. , Kassim, A. A., Ibrahim, Y., Character recognition using statistical moments. *Image and Vision Computing* 17 (1999) 299–307

Dourish, P., Bellotti, V., "Awareness and Coordination in Shared Workspaces", Procedente de la cuarta conferencia ACM sobre Computer Supported Cooperative Work (CSCW). Toronto. Ontario. Canada, pp.107-114, 1992.

Greenhalgh, C.; "Large Scale Collaborative Virtual Environments", Tesis Doctoral. Universidad de Nottingham, 1997.

Herrero, P., De Antonio, A.; Diseño de un Modelo de Percepción para agentes virtuales inteligentes basado en el sistema de percepción de los seres humanos. pp 11-24. 2003

Herrero, P., De Antonio, A.; A Human Based Perception Model for Cooperative Intelligent Virtual Agents. Procedente de la Décima Conferencia Internacional sobre Sistemas de Información Cooperativos (CoopIS 2002). Irving. California. USA, pp. 195-212, 2002.

Hwang, C.L., Yoon, K., *Multiple Attributes Decision Making Methods and Application*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1981.

Jiang, Q., Chen, C.H., A multi-dimensional fuzzy decision support strategy. *Decision Support Systems* 38 (2005) 591– 598.

Kaufmann, A., Gupta, M.M., *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1985.

Pajares, G., de la Cruz, J.M., *Visión por Computador: Imágenes digitales y aplicaciones*, RA-MA, 2008

Pajares, G. de la Cruz, J.M., *Ejercicios resueltos de visión por Computador*, RA-MA, 2007

Pajares, G., Ruz, J. J., Lanillos, P., Guijarro, M., de la Cruz, J. M., Santos, M., Generación de trayectorias y toma de decisiones para UAVs. *Revista Iberoamericana de de Automática e Informática Industrial* Vol. 5, Núm. 1, Enero 2008, pp. 83-92

Ribeiro, R.A., Fuzzy multiple attribute decisión making: A review and new preferente elicitation techniques. *Fuzzy Sets and Systems* 78 (1996) 155-181

Ríos, S., Bielza, C., Mateos, A., *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*, RA-MA, 2002.

Tellaeché, A., BurgosArtizzu, X. P., Pajares, G., Ribeiro, A., Fernandez-Quintanilla, C., A new vision-based approach to differential spraying in precision agricultura. *Computers and Electronics in Agriculture*. 60 (2008) 144-155

Wallenius, J., Dyer, J.S., Fishburn, P.C., Steuer, R., Zionts, S., Deb, K., *Multiplw Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead*. SAL&HSE Graduate School Seminar: September 6, 2007

Wang. W., Fenton, N., *Risk and Confidence Analysis for Fuzzy Multicriteria Decision Making*.  
(disponible on-line

[http://www.dcs.qmul.ac.uk/~norman/papers/Wang\\_Fenton\\_Risk\\_and\\_Confidence.pdf](http://www.dcs.qmul.ac.uk/~norman/papers/Wang_Fenton_Risk_and_Confidence.pdf))

## 7. Anexo I

# Diseño del modelo de percepción

Como se ha mencionado con anterioridad, se pretendía dotar a los agentes de la propiedad de la percepción visual, de tal manera que solo pudieran conocer la zona del entorno que en cada momento les fuera “visible”. Por ello, introducimos conceptos como *focus*, *nimbus* y claridad de percepción (Herrero y De Antonio, 2003) que han sido clave a la hora de desarrollar nuestro Modelo Espacial de Interacción (Benford y Fahlén, 1993; Benford y col., 1995).

El Modelo Espacial de Interacción fue el primer modelo de *consciencia* propuesto, en 1993 por Benford y Fahlén. El modelo espacial se diseñó de forma que permitiera obtener información del entorno que rodea al usuario en entornos colaborativos, a través de una serie de mecanismos como son el *focus*, *nimbus* o la *consciencia*, que fueron definidos para ese modelo y que permiten gobernar la interacción en un entorno virtual.

El término de *consciencia* es muy familiar dentro del campo del Trabajo Colaborativo (Computer Supported Cooperative Work, también conocido por las siglas CSCW).

Probablemente la mejor definición de *consciencia* en CSCW fue proporcionada por Dourish y Bellotti (1992). Ellos definieron el concepto el *consciencia* como “una comprensión de las actividades de los demás, las cuales proporcionan un contexto para tu propia actividad”.

El *focus* determina la zona del espacio desde la cual un objeto recibe información, y el *nimbus* determina la zona del espacio en la cual un objeto proyecta su información.

El *nimbus*, como vemos en la figura 7.1, representa la zona del espacio en la que el agente y el objeto pueden ser percibidos por otro agente.



Figura 7.1 *Nimbus* alrededor de dos agentes

El *focus* o cono de visión, como vemos en la figura 7.2, lo representaremos mediante un cono que representa la zona del espacio que el agente percibe.

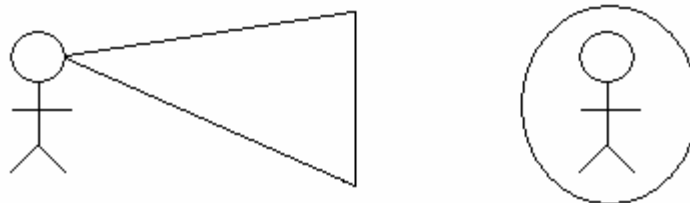


Figura 7.2 *Focus* y *nimbus*

Si el *focus* del agente entra en contacto con el *nimbus* de otro, el agente le percibe. Esto queda reflejado en la figura 7.3.

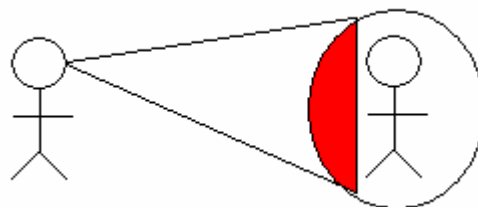


Figura 7.3 *Focus* intersecando con el *nimbus* de otro agente

Cuanto más cerca se encuentren los agentes, con más claridad percibirá el primero al segundo, es decir, mayor será la intersección entre el *focus* y el *nimbus*.

La claridad de percepción es una medida de la habilidad que un agente posee para percibir un objeto que se encuentra presente en su *focus* de percepción. Para ello se ha utilizado el concepto de *consciencia* tal y como fue introducido en sus orígenes por el Modelo Espacial de Interacción.

Así pues, si la percepción que se realiza es visual, una vez que el *nimbus* del objeto que se desea percibir intersecciona con el *focus* del agente que percibe el entorno, la percepción sensitiva del agente entra en juego y calcula la claridad de percepción que el agente tiene de ese objeto.

Matemáticamente, la claridad de percepción vendría dada por las funciones matemáticas:

$$\begin{aligned}
 0.0 \leq d \leq d_1, \quad \text{CP}(d) &= \lambda d \\
 d_1 \leq d \leq d_2, \quad \text{CP}(d) &= \text{CP}_{\max} \\
 d \geq d_2, \quad \text{CP}(d) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(d-d_2)^2}{2\sigma^2}\right\}
 \end{aligned} \tag{7.1}$$

siendo:

$d_1$ : La distancia mínima entre el objeto y el ojo para que dicho objeto pueda ser percibido.

$d_2$ : La distancia máxima entre el objeto y el ojo para que dicho objeto pueda ser percibido con un elevado nivel de detalles.