

# Tesis Doctoral

para la obtención del grado de  
Doctor por la Universidad de Cantabria

## Nuevas Técnicas para la Animación del Comportamiento de Agentes Virtuales Autónomos

Realizada por  
**Francisco Alberto Luengo González**

Bajo la dirección del  
**Dr. Andrés Iglesias Prieto**

Presentada en el  
Departamento de Matemática Aplicada  
y Ciencias de la Computación  
de la  
Universidad de Cantabria

Santander, Febrero 2005

*A mi tesoro, mi familia.  
Y a mi joya, mi esposa.*

# Agradecimientos

---

He corrido con mucha suerte a lo largo de mi vida. En varias oportunidades me he planteado metas que realizarlas serian un sueño hecho realidad para mi; y esas metas las he cumplido. Sin embargo, no ha sido el éxito del logro lo que mayor satisfacción me ha dado, sino las experiencias acumuladas a lo largo del camino, y las muestras de afecto recibidas. La realización de estos estudios no han sido la excepción.

A un paso de culminar este Doctorado no puedo evitar sentirme de nuevo afortunado, al ver que una vez mas estoy por alcanzar una meta que tanta ilusión me hace, y a sabiendas que pude terminar con éxito un proyecto (como lo es esta tesis) que siempre supuso un gran reto, y el cual mi tutor y yo hemos afrontado con la mayor humildad, pero con la conciencia clara de lo que podríamos aportar. Sin embargo, mas allá de la satisfacción por los logros conseguidos, productos de esta investigación, están las maravillosas personas que a lo largo de este camino me han brindado, no solo su apoyo y confianza, sino también su amistad, lo cual sin ninguna duda, ha hecho posible que este momento sea una realidad.

Quiero comenzar agradeciéndoles a todas las personas de la universidad a la que pertenezco, La Universidad del Zulia (Venezuela), desde las secretarias hasta las autoridades, que han contribuido de una u otra forma a que obtuviese la autorización y el financiamiento que me ha permitido vivir esta inigualable experiencia, tanto en lo profesional como en lo personal.

Mi especial gratitud al Dr. Enrique Castillo, quien confiara inicialmente en mí sin conocerme, para ingresar al doctorado, y que con su apoyo durante todo el período de docencia hizo más cómoda mi estancia al inicio de mis estudios.

También quisiera agradecer a mis compañeros del Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación, Carmen Sordo, Cristina Primo, Antonio Cofiño, y Akemi Gálvez, por su receptividad, simpatía, y disposición, haciendo de las horas de trabajo en el salón de doctorado mas provechosas y placenteras; y a los profesores José Manuel Gutiérrez, Jaime Puig-Pey, y Antonio Galván, de quienes tuve la fortuna de recibir clases, y cuyo consejo y ayuda siempre han estado presentes desde entonces. A Francisco Cueto (Paco), Secretario del Departamento, por su amabilidad y eficiencia, pero sobre todo por

su paciencia durante las mil oportunidades en que dispuse de su tiempo.

Estos agradecimientos no podrían estar completos sino hiciera mención al Dr. Andrés Iglesias Prieto, ideólogo de este proyecto, y quien con su amplia experiencia y conocimiento supo conducir esta investigación por los senderos mas fértiles. Pero más que agradecer a mi tutor por su inmejorable asesoramiento, le agradezco al amigo que encontré en él, por sus acertados y oportunos consejos, la inagotable ayuda que me brindara, la confianza en mí depositada, y la invalorable experiencia profesional y personal vivida a su lado. La fortuna le volvía a sonreír a este estudiante doctoral venezolano, cuando en aquel curso de Computación Grafica, el Dr. Andrés Iglesias me confiara una idea para desarrollarla, sin disponer yo de ninguna experiencia previa en el mundo de los gráficos por ordenador. Por todo eso y más, mi más profundo y sincero agradecimiento a mi tutor y amigo, Dr. Andrés Iglesias.

Aprovecho la oportunidad para agradecerle al Dr. Daniel Thalmann del Instituto Federal de Tecnología de Suiza (a quien tuve el privilegio de conocer personalmente en un congreso en Tokio), al Dr. Matthew Lewis de la Universidad de Ohio State (USA), al Dr. Spyros Vosinakis de la Universidad de Pireo (Grecia), al Dr. Toby Tyrrell de la Universidad de Southampton (UK), y al Dr. Demetri Terzopoulos de la Universidad de Toronto (USA), por permitirme mostrar algunas de las imágenes de sus trabajos como ejemplo de excelentes desarrollos en el área.

Por otro lado, y fuera del contexto universitario, quisiera dedicar un inmenso agradecimiento a Esther Ruisanchez, Roberto Haro, Ángeles Candelas y Ramón Gil, maravillosos seres humanos, que brindaron a este extranjero y a su esposa, mas que una amistad, la confianza, hospitalidad, incondicionalidad y cariño, que solo se espera de la propia familia. A ellos, todo mi afecto.

Por último, pero no por ello menos importantes, a quienes he dedicado el fruto de este esfuerzo. A Jesús y Milagros (mis Padres), a Sharon (mi hermana), a mi hermosa tía Gloria, a mis primos Lenis, Claudia y Victor, a mis suegros Alba y Nino, y a Anto, mi gran amor. Teniéndolos a ustedes, lo tengo todo.

Y finalmente, mis disculpas a todos los aquí mencionados (y a quien se me haya podido escapar) si no he sabido expresar con palabras todo lo que verdaderamente han hecho por mi, y todo lo que ello ha significado. De corazón, GRACIAS.

Francisco A. Luengo G.

# Contenidos

---



<b>I</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1	Introducción	3
1.1	Breve Reseña Histórica	4
1.1.1	Gráficos por Ordenador	5
1.1.2	Inteligencia Artificial	7
1.1.3	Vida Artificial	10
1.2	Motivación	11
1.3	Objetivos	13
1.4	Organización del Trabajo	14
<b>II</b>	<b>Estado del Conocimiento</b>	<b>17</b>
2	Conceptos Básicos	19
2.1	Agentes Virtuales Autónomos	19
2.1.1	Modelado	21
2.1.2	Animación	23
2.1.3	Caminos y Colisiones	27
2.2	Objetos Inteligentes	28
2.3	Mundos Virtuales	30
2.3.1	Herramientas de Desarrollo	31
2.3.1.1	ACE	31
2.3.1.2	mVITAL	32
2.3.1.3	SimHuman	33
2.3.2	Aplicaciones de Entornos Inteligentes	34
3	Modelos de Comportamiento	37
3.1	Simulación del Comportamiento	38

3.1.1	Sistema Clasificador Jerárquico	39
3.1.2	Locomoción, Percepción y Comportamiento	41
3.1.3	Comportamientos Complejos	44
3.1.3.1	Motivados por Emociones	44
3.1.3.2	Motivado por Creencias	46
3.1.3.3	Separando la Mente del Cuerpo	48
3.2	Paradigma de Acción Selección	50
3.2.1	MASM	50
3.2.2	IDA	51
3.2.3	APOC	52

### **III Aportaciones de la Tesis 55**

<b>4</b>	<b>Marco de Simulación del Comportamiento</b>	<b>57</b>
4.1	Marco General de Simulación	57
4.1.1	Lenguajes y Ambientes de Programación	60
4.1.2	Implementación	63
4.1.2.1	Sistemas Monoprocesador y Distribuido	66
4.2	Entorno Gráfico de Simulación	69
4.2.1	Objetos Inteligentes	71
4.2.1.1	Árbol	72
4.2.1.2	Alpiste	72
4.2.1.3	Banca	73
4.2.1.4	Rueda	74
4.2.1.5	Subibaja	75
4.2.2	Agentes Virtuales	76
4.3	Sistema de Control Físico	78
4.3.1	Subsistema de Percepción	80
4.3.1.1	Esquema de Codificación de Elementos	81
4.3.1.2	Vista	84
4.3.1.3	Oído	86
4.3.2	Subsistema de Movimiento	87
<b>5</b>	<b>Conocimiento y Personalidad</b>	<b>89</b>
5.1	Sistema de Control del Comportamiento	90
5.1.1	Protocolo de Comunicación	92
5.1.2	Sistema Independiente	93

---

5.2	Motor de Conocimiento	95
5.2.1	Zona Flash	96
5.2.2	Área de Memoria	97
5.2.2.1	Memoria Neuronal	98
5.2.3	Base de Conocimientos	101
5.2.4	Actualizador de Conocimiento	103
5.2.4.1	K-Means	103
5.2.5	Resolver de Peticiones	107
5.3	Subsistema Analizador	108
5.4	Subsistema de Estados Internos	110
5.4.1	Energía	111
5.4.2	Timidez	113
5.4.3	Aburrimiento	114
5.4.4	Ansiedad	114
5.4.5	Hambre y Sed	115
5.4.6	Temor	116
<b>6</b>	<b>Esquema de Acción Selección</b>	<b>117</b>
6.1	Motor de Conducta	118
6.1.1	Base de Objetivos	119
6.1.2	Analizador Emocional	121
6.1.3	Planificador de Intenciones	124
6.1.4	Planificador de Acciones	126
6.1.4.1	Rutina de Búsqueda de Caminos	128
6.2	Ciclo de Simulación	130
<b>7</b>	<b>Software para Pruebas</b>	<b>133</b>
7.1	Programa Principal	133
7.2	Diseño de Agentes	138
7.3	Diseño de Entornos	139
7.4	Simulador	141
<b>IV</b>	<b>Resultados y Conclusiones</b>	<b>145</b>
<b>8</b>	<b>Resultados</b>	<b>147</b>
8.1	Selección de Simulaciones de Prueba	147
8.1.1	Búsqueda de Caminos	148
8.1.2	Ejecutando Objetivos	150

---

8.1.3	Motivado por Emociones	153
8.2	Nuevo Entorno Virtual	154
8.2.1	Ejemplo Nuevo Entorno	156
8.3	Criterios de Validación	159
<b>9</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>163</b>
9.1	Principales Aportaciones	163
9.2	Comparación con Esquemas Previos	165
9.3	Publicaciones	168
9.4	Futuras Líneas de Investigación	170
	<b>Bibliografía</b>	<b>173</b>