

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
FACULTAD DE INFORMÁTICA  
Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN 2006/2007  
Máster en Investigación Informática  
Especialidad Sistemas Inteligentes

# **Modelado y Simulación de la Evolución de Valores en Sociedades Humanas con Agentes Software**



Alumno:  
**Samer Hassan Collado**

Director:  
**Juan Pavón Mestras**

**Resumen:**

El proyecto aborda, desde una perspectiva multidisciplinar, la integración de métodos y herramientas de los campos de la ingeniería del software, la inteligencia artificial y la sociología. Así, se pretende simular la complejidad de las sociedades humanas desde el diseño de un modelo sociológico. Este modelo tratará de simplificar la realidad extrayendo las características relevantes para el problema objeto de estudio. La simulación social implementará, según las líneas establecidas por dicho modelo, un sistema multi-agente en un entorno cerrado. La evaluación del sistema se realizará comparando sus resultados con los datos extraídos de encuestas reales. Se ha experimentado también con otras técnicas de inteligencia artificial, obteniendo distintos módulos de ampliación del sistema: lógica borrosa y salida en lenguaje natural. Esta memoria se complementa con los artículos realizados sobre este proyecto, que se adjuntan al final de la misma.

**Palabras clave:**

agentes software, lenguaje natural, lógica borrosa, modelado, simulación, simulación social, sociología

**Abstract:**

This project approaches, from a multidisciplinary perspective, the integration of methods and tools from the fields of software engineering, artificial intelligence and sociology. Therefore, it expects to simulate the complexity of human societies from the design of a sociological model. This model is an abstraction of reality by extracting relevant characteristics for the problem under study. The social simulation will implement, following specified model lines, a multi-agent system in a closed environment. The system evaluation will be carried out comparing its results with the extracted data from real surveys. Experiments with other artificial intelligence techniques have resulted in two different extension modules for the system: a fuzzy logic module and a natural language generation one. This report is complemented with the written and published articles about this project, which can be found in an appendix in the end.

**Keywords:**

fuzzy logic, modelling, natural language, simulation, social simulation, sociology, software agents

# Índice general

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Contexto.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Objetivos del Proyecto.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Estructura del Trabajo y la Memoria.....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 2. Revisión del Estado del Arte.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Introducción .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Simulación Social: una Perspectiva Histórica .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3. Simulación Social Basada en Agentes.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4. Agentes Borrosos .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5. Depuración y Generación de Lenguaje Natural.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6. Agentes Complejos: BDI .....</b>	<b>19</b>
<b>Capítulo 3. El Modelo Sociológico.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Perspectiva Global Preliminar.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 El Individuo .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Los Grupos .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Las Relaciones .....</b>	<b>24</b>
<b>3.5 El Mundo .....</b>	<b>26</b>
<b>3.6 Límites del Modelo .....</b>	<b>28</b>
<b>Capítulo 4. Implementación: el Sistema Multi-Agente.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Los Agentes.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 Las Relaciones .....</b>	<b>31</b>
<b>4.3 El Sistema Global .....</b>	<b>32</b>
<b>4.4 Entorno Utilizado.....</b>	<b>33</b>
<b>4.5 Diagrama de Clases .....</b>	<b>34</b>
<b>Capítulo 5. Resultados Sociológicos .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 Los Datos Empíricos.....</b>	<b>37</b>
<b>5.2 La Experimentación .....</b>	<b>38</b>

<b>Capítulo 6. Ampliación: Lógica Borrosa.....</b>	<b>42</b>
<b>6.1 Preliminares sobre Lógica Borrosa .....</b>	<b>42</b>
<b>6.2 Aplicación en este Contexto .....</b>	<b>44</b>
<b>6.3 Aplicación del Cierre T-Transitivo.....</b>	<b>46</b>
<b>6.4 Conclusiones, Resultados y Trabajo Futuro.....</b>	<b>47</b>
<b>Capítulo 7. Ampliación: Generación de Lenguaje Natural.....</b>	<b>49</b>
<b>7.1 Introducción .....</b>	<b>49</b>
<b>7.2 Una Aplicación Inmediata: Depuración .....</b>	<b>50</b>
<b>7.3 Perspectiva Micro y Cambio de Dominio: Generación de Historias Fantásticas.....</b>	<b>51</b>
<b>7.4 Estructura del Módulo Narrativo .....</b>	<b>53</b>
<b>7.5 Validación en Historias Fantásticas.....</b>	<b>56</b>
<b>7.6 Perspectiva Micro en Dominio del Problema Estudiado: Sociología Cualitativa.....</b>	<b>58</b>
<b>7.7 Perspectiva Micro Compleja: Enfoque BDI.....</b>	<b>61</b>
<b>Capítulo 8. Conclusiones y Trabajo Futuro.....</b>	<b>64</b>
<b>8.1 Conclusiones .....</b>	<b>64</b>
<b>8.2 Trabajo Futuro: Propuesta para Tesis Doctoral.....</b>	<b>65</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>68</b>
<b>Glosario de Acrónimos y Abreviaturas.....</b>	<b>74</b>
<b>Anexo: Artículos Publicados (o Aceptados para su Publicación) .....</b>	<b>75</b>
<b>A.1 Artículo A .....</b>	<b>77</b>
<b>A.2 Artículo B.....</b>	<b>78</b>
<b>A.3 Artículo C .....</b>	<b>79</b>
<b>A.4 Artículo D .....</b>	<b>80</b>
<b>A.5 Artículo E.....</b>	<b>81</b>
<b>A.6 Artículo F (Factor de Impacto 1,138 JCR 2005) .....</b>	<b>82</b>
<b>A.7 Artículo G .....</b>	<b>83</b>
<b>A.8 Artículo H.....</b>	<b>84</b>

# Agradecimientos

A Juan Pavón Mestras, doctor en Informática y profesor de la UCM, por dirigir este proyecto desde sus precarios inicios y orientarme continuamente.

A Millán Arroyo Menéndez, doctor en Sociología y profesor de la UCM, por su continua colaboración en el proyecto, sin cuya ayuda esto nunca habría sido posible.

A Pablo Gervás Gómez-Navarro y Luis Garmendia Salvador, doctores en informática y profesores de la UCM, por su gran predisposición y colaboración en distintas ampliaciones de este proyecto.

A Carlos León Aznar y María Guijarro Mata-García, ingenieros en informática por la UCM, por colaborar conmigo en distintas ampliaciones de este proyecto.

A María Teresa Murguialday Barrio y Carlos García Arano, ingenieros en informática por la UCM, por darme varias ideas en los inicios de este proyecto.

A Javier Bustamante Donas, doctor en filosofía y profesor de la UCM, por introducirme en la teoría de juegos y en numerosos conceptos relacionados.

A Miguel Ángel López Muñoz, matemático por la UCM, por empujarme a leer, hace muchos años, unos libros que serían el germen de esta idea.

A Matilde Santos Peñas y Belén Díaz Agudo, doctoras en informática y profesoras de la UCM, por su interés a la hora de ayudarme con este proyecto.

Y en general, al departamento Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la UCM, por el apoyo de sus miembros.

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación “*Métodos y herramientas para modelado de sistemas multiagente*”, subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia, referencia TIN2005-08501-C03-01.

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1 Contexto

El estudio macroscópico de las sociedades humanas con objeto de su análisis, comprensión y predicción ha sido una constante desde Comte a principios del Siglo XIX. Se han hecho grandes esfuerzos con el surgimiento de métodos de investigación empírica y potentes herramientas estadísticas que permiten profundizar en este tema. Sin embargo, aún nos encontramos lejos de poseer la experimentación y el laboratorio propios de las ciencias naturales.

Los avances en la capacidad de computación permiten hoy día tratar un gran número de variables, lo que lleva a la posibilidad de simular sistemas sociales complejos. Los sistemas sociales son sistemas dinámicos no lineales, y por tanto las herramientas clásicas de modelado son difíciles de aplicar. El problema consiste en la disponibilidad de técnicas que faciliten el modelado computacional de este tipo de sistemas. El paradigma de agentes puede ayudar en este sentido ya que se asimila bastante bien a lo que es un sistema social. De hecho, en teoría de agentes software existen numerosos trabajos sobre los aspectos organizativos de los sistemas multi-agente, como se citarán más adelante. También se aplican teorías provenientes del campo de la psicología, siendo la más extendida el modelo de Deseos-Creencias-Intenciones (en inglés, *Believes-Desires-Intentions*, BDI) [9]. Así, en la simulación basada en agentes, cada individuo se representará como un agente distinto con sus características propias, persiguiendo sus propios objetivos con decisiones racionales. Además, si el modelo trabaja con un gran número de agentes que interactúen entre sí, surgirán dinámicas de grupo que se pretenden estudiar, precisamente la visión global que permite esta tecnología. Por último, las características de los agentes se adaptan muy bien a este problema, tanto por su independencia (igual que los individuos) y flexibilidad (con posibilidad de aprendizaje y evolución) como por su percepción y actuación en su entorno (colectivos) e interacción con otros agentes (individuos).

Así, es posible realizar un modelo teórico sociológico subyacente que definiera las características de los individuos/agentes y las interacciones entre ellos, además del entorno en el que evolucionarán. A continuación, apoyándose en este modelo, se realiza una simulación de una gran agrupación de individuos, lo suficientemente grande (cientos o miles de agentes) como para que pudieran surgir “espontáneamente” en su interior, patrones sociales que puedan ser estudiados. Es decir, se alcanza la cantidad necesaria para obtener las propiedades de auto-organización y comportamiento emergente. Se tiene auto-organización cuando la organización global aparece sin planificación central, a partir de acciones individuales de los agentes. El comportamiento emergente surge de las interacciones entre los individuos: comportamientos simples y reglas simples pueden dar lugar a organizaciones complejas [4].

En este sentido, los agentes se basan en la idea de que para analizar procesos complejos globales (como las bandadas de pájaros... o las sociedades humanas), en lugar de modelar el proceso a escala macro, se modele el comportamiento local entre agentes adaptativos y se observen las propiedades emergentes. Un mundo artificial poblado por agentes es un laboratorio en donde los investigadores pueden manipular las condiciones estructurales para probar teorías macro-sociológicas [46]. Estos macro-experimentos virtuales proporcionan una metodología rigurosa para el estudio de los micro-fundamentos de las dinámicas macro, en la forma en que apoya Coleman [13].

## **1.2 Objetivos del Proyecto**

A raíz de lo expuesto en el anterior punto se han identificado los objetivos principales de este proyecto:

- La elaboración de un modelo teórico sociológico que abarque correctamente las principales características de una sociedad de individuos complejos. Además, el modelo debe definir sus interacciones y evolución.
- Definir desde el punto de vista de la implementación la arquitectura de los agentes y del Sistema Multi-Agente, siguiendo en la medida de lo posible lo especificado en el modelo.
- Diseñar un sistema prototipo en UML e implementarlo de forma modular para facilitar sus futuras ampliaciones.

- Realizar pruebas y experimentación suficiente para ajustar parámetros y depurar el sistema. Obtención de resultados macro aceptables.
- Ampliación: introducir lógica borrosa en el sistema para una mayor similitud con la realidad y una mejora de los resultados a escala micro.
- Ampliación: seleccionar un individuo modelo que represente la evolución global y generar en lenguaje natural su biografía.

Los resultados de este trabajo permitirán definir las líneas de evolución del sistema para la Tesis Doctoral.

### **1.3 Estructura del Trabajo y la Memoria**

Con objeto de experimentar con problemas sociales reales, se ha elegido un problema complejo con gran cantidad de factores implicados: la evolución de los valores (relacionados con la ideología, religiosidad...) en las sociedades humanas, en particular en la España post-moderna de fin de siglo. La importancia de que un sistema con gran número de variables y suficientemente general de estas características obtenga resultados útiles a la sociología significaría un punto de inflexión para el estudio de la sociología [46]. Para la realización de un modelo que abarque este problema se ha contado con la ayuda de un sociólogo de la UCM y con los conocimientos en ciencias sociales del alumno (por estar cursando 3º de Ciencias Políticas). Este modelo teórico se desarrolla en el Capítulo 3.

Se ha desarrollado un prototipo de este sistema, analizado en el Capítulo 4. y en el punto A.1: Artículo A (o [57]), tanto a nivel teórico como en implementación. En este prototipo se está trabajando con 500 agentes (número ampliable pero estadísticamente suficiente para esta fase) con más de diez características que los definen, que interactúan entre sí en un entorno determinado. Las características de los agentes se obtienen de los datos proporcionados por la Encuesta Europea de Valores (EEV) [54] correspondientes a España, como se explica en el Capítulo 5. . Con esto se obtiene una muestra representativa de la población española, con estructura de clases y atributos equivalente.

Existen múltiples parámetros configurables, incluyendo un modelo demográfico, que se ha ajustado a las medias de la pirámide poblacional española (número medio de

hijos, edad media de muerte o reproducción para cada sexo... los parámetros sólo proporcionan la media de la distribución gaussiana). Se obtienen diversas gráficas en tiempo real que representan la evolución de sus principales características y de algunos estadísticos interesantes.

Una vez implementado el módulo base, se han ido desarrollando distintos módulos de ampliación que añaden nuevas funcionalidades al sistema o mejoran su seguimiento fehaciente del modelo teórico. Una ampliación ha consistido en la borrosificación (introducción de lógica borrosa o borrosa) de distintos aspectos del sistema: Capítulo 6. y profundizado en los puntos A.2: Artículo B (o [29]) y A.3: Artículo C. Por otro lado, con otra ampliación se ha realizado la selección de un individuo modelo que represente la evolución global y se ha generado en lenguaje natural su biografía: Capítulo 7. y profundizado en los puntos A.4: Artículo D (o [42]) y punto A.5: Artículo E.

Los resultados obtenidos han sido bastante positivos para tratarse de un prototipo. Desde el ámbito macro, se han cargado los datos de la EEV de 1980, se ha hecho evolucionar el sistema 20 años, y se ha comparado su salida (las gráficas de evolución) con los datos reales de la EEV de 2000. Como se verá en el punto 5.2, la similitud es muy buena (desarrollado en el punto A.6: Artículo F y en el punto A.8: Artículo H). En el ámbito micro, se han realizado progresos gracias a la lógica borrosa, con unas relaciones entre agentes congruentes con lo esperado según el modelo teórico, y unas parejas muy similares entre sí (uno de los objetivos perseguidos). Además, la perspectiva micro se ve reforzada al disponer de una traza biográfica de los agentes, muy práctica para la investigación sociológica cualitativa como se explica en el punto A.7 Artículo G. Para una visión global del potencial de este sistema, haciendo énfasis en los resultados macro, se puede acudir al punto A.8: Artículo H.

Se ha realizado una revisión de los trabajos relacionados con las distintas facetas de este proyecto en el Capítulo 2. , y se analizan sus aportaciones en el Capítulo 8. . Al final, se dispone de la lista de bibliografía utilizada, el glosario de los principales acrónimos o abreviaturas, y un anexo con los artículos publicados en este contexto.

## **Capítulo 2. Revisión del Estado del Arte**

### **2.1. Introducción**

A continuación se procede a revisar los trabajos relacionados con el proyecto, en sus distintas facetas. En primer lugar se revisarán los antecedentes de la simulación social, desde una perspectiva histórica. A continuación la exposición se centra en otros trabajos de simulación social basada en agentes, precedido por una pequeña introducción sobre éstos. Un breve apunte sobre agentes borrosos es presentado antes de proceder a las tres cuestiones relacionadas con la ampliación del Capítulo 7. : depuración, generación de lenguaje natural y comunicación entre agentes. Por último, se citan brevemente trabajos interesantes en torno al difundido modelo BDI.

### **2.2. Simulación Social: una Perspectiva Histórica**

Por *Simulación* se entiende la emulación del comportamiento de un sistema real por otro artificial, haciendo especial referencia a la posibilidad de realizar experimentos manipulando y controlando variables del sistema artificial (construido en nuestro ordenador en este caso), que ha sido modelado previamente para que se comporte de forma análoga al sistema real. En el supuesto de que el modelado se comporte adecuadamente, las simulaciones que se efectúen sobre aspectos desconocidos del sistema, resultarán plausibles, es decir, las novedades que se revelen mediante experimentación en el sistema artificial, caben esperarse también en la realidad.

La experiencia está demostrando que la simulación basada en ordenador es muy útil en distintas ramas del conocimiento, especialmente en aquellos contextos de investigación donde los sistemas son demasiado complejos para la experimentación tradicional, o con dificultades prácticas insuperables. Existen múltiples ejemplos en campos tan diversos como la simulación de pruebas nucleares (que han permitido un drástico descenso de las pruebas reales) o la simulación en astrofísica (por la imposibilidad de experimentar con estrellas y galaxias). También se ha comenzado a simular el comportamiento humano y las sociedades humanas, y en los últimos años se

han desarrollado algunas aplicaciones pioneras en sistemas reducidos y cerrados. Entre las aplicaciones pioneras está la simulación de flujos de tráfico, en los que cada agente es un conductor al volante que tiene que tomar decisiones en un contexto en el que interpreta, y reacciona ante otros conductores y las características del tráfico [19]. O bien simulación de situaciones de emergencia, como el caso de emergencia en un aeropuerto en el que cada agente es un individuo huyendo del fuego hasta encontrar la salida [10].

Pero en el caso de la simulación en las ciencias sociales, en el que se enmarca este proyecto, conviene hacer un repaso por sus orígenes, comentando ocho ejemplos modelo de estudio que han sido seleccionados en [4] por Axelrod y otros autores por su relevancia para las ciencias sociales, su representatividad y diversidad.

1. El Juego de la Vida de Conway [60].

- A pesar de que no es un modelo de ciencias sociales, es una de las primeras y más influyentes simulaciones de vida artificial.
- Son autómatas celulares bidimensionales.
- Tres reglas muy simples (supervivencia, muerte, nacimiento) hacen surgir patrones dinámicos complejos partiendo de “organismos” como el famoso “glider”.

2. Cubo de Basura de Cohen, March y Olsen [12].

- Uno de las más citadas simulaciones en el ámbito de las ciencias sociales.
- Basado en relaciones organizacionales.
- Una organización se contempla como grupos de elecciones buscando problemas, temas y sentimientos buscando situaciones de decisión donde puedan surgir, soluciones buscando temas de las cuales ellas pueden ser la solución, y tomadores de decisiones buscando trabajo.

3. El modelo de Schelling [68], [69]

- Un conocido trabajo clásico sobre la simulación de una sociedad artificial.
- 8 vecinos, 2 dimensiones.

- Un agente disconforme se mueve al lugar vacío más cercano donde podría estar contento. Un agente está contento si más de la tercera parte de sus vecinos son del mismo color.
  - Se forman vecindarios segregados aunque todos los agentes son parcialmente tolerantes.
4. Estrategias de evolución del Dilema del Prisionero de Axelrod [5]
- Estudio ampliamente citado y conocido.
  - Todos juegan contra todos.
  - La población de agentes juega el Dilema del Prisionero Iterado con todos los demás, usando estrategias deterministas basadas en las últimas tres partidas (existen unas  $2^{70}$  estrategias de este tipo). Se utiliza un algoritmo genérico para hacer evolucionar la población y buscar el óptimo.
  - Partiendo de un comienzo aleatorio, la mayoría de poblaciones comienzan evolucionando de ser anti-cooperativas a alcanzar un modelo de cooperación total basado en la reciprocidad.
5. Código Organizacional de March [47].
- Un buen ejemplo de aprendizaje en un sistema organizacional.
  - El aprendizaje mutuo sucede entre los miembros de una organización y el código organizacional, que aprende de los miembros quiénes son buenos prediciendo el entorno, mientras aquellos aprenden de éste.
6. Mercado descentralizado de Alvin y Foley [1].
- Un buen ejemplo de simulación usado para estudiar la robustez de los mercados.
  - El intercambio es iniciado por agentes que emiten mensajes costosos indicando su interés en el comercio. El comercio es realizado a través de regateo entre pares de agentes, que utilizan la información de anteriores intentos de comercio local para calcular sus estrategias.
7. Modelo “NK Patch” de Kauffman, Macready y Dickenson [40]
- Un modelo muy abstracto con un resultado interesante.

- La energía de cada agente depende del estado de diversos agentes (formando un tipo de red, las NK). Todo el entramado es dividido en particiones rectangulares en las que se ejecutan operaciones aleatorias de descenso de energía (con ciertas restricciones).
- Consigue incrementar la energía global evitando quedarse en máximos locales.

#### 8. Modelo etiquetado del Dilema del Prisionero, de Riolo [67]

- Estructura de “sopa” (cualquiera puede encontrar a cualquiera).
- Pares de agentes se encuentran aleatoriamente. Si ambos están de acuerdo, juegan un Dilema del Prisionero de cuatro movimientos. Un agente acepta jugar más fácilmente con alguien de un color (etiqueta) similar. Las estrategias usan dos parámetros: probabilidad de C después de C y probabilidad de C después de D. Se utiliza un algoritmo evolutivo para determinar la población de la próxima generación.
- A pesar de que el significado y éxito de un color determinado es temporal, los colores ayudan a mantener la cooperación a largo plazo.

Más recientemente, han surgido otros ejemplos interesantes para explicar procesos económicos, como la auto-regulación del mercado [78] modelos de comportamiento de colas, como clientes en mostradores, en un banco, o en un aeropuerto, o situaciones similares, en las que cada agente es un cliente que busca ser atendido [25] u otros escenarios relacionados con la teoría de la elección racional, [25].

En el campo de las ciencias sociales distinguimos dos aportaciones potenciales principales de la simulación. Una, verificar si un modelo sociológico es coherente y ‘funciona’ adecuadamente. La otra es superar ‘virtualmente’ las grandes limitaciones de experimentación en estas disciplinas, (resulta difícil, cuando no a menudo inmoral o imposible en la práctica, experimentar con sociedades y seres humanos reales) lo que mejoraría las capacidades explicativas e incluso quizás predictivas de estas disciplinas en general y de la sociología en particular. La consecuencia imaginable (plausible) de usar esta nueva herramienta en la investigación social sería sobre todo la mejora y crecimiento de los marcos teóricos, de aquellos sistemas, procesos y fuerzas sociales que se modelan.

Como se ha visto, existen diversos tipos de modelados y simulaciones. A continuación se profundizará en la elegida para este problema (por razones ya comentadas): la simulación social basada en agentes software.

### **2.3. Simulación Social Basada en Agentes**

La utilización de los sistemas multi-agente para el estudio de sistemas complejos está creciendo en la actualidad en muy diversos campos científicos. Sin embargo, las aplicaciones suelen restringirse a ejemplos muy concretos, no tan genéricos (ni tan potencialmente complejos) como éste. Tenemos análisis de demanda de agua en el sur de Inglaterra [50], o la exposición sobre política climática de [18] como muestras del patrón típico: simplificación a un contexto pequeño y demostración de la utilidad del paradigma de agentes para la simulación social. También son muy frecuentes las simulaciones relacionadas con la Economía, como las que recorren los estudios genéricos [52], o el ejemplo desarrollado de [43]. Pero también en Ecología [38], Teoría Organizacional [62], o Uso del suelo [59]. Un ejemplo muy intuitivo, que demuestra las inspiraciones biológicas de muchos de estos sistemas, es el de las colonias de hormigas: un sistema distribuido, con particularidades entre los individuos, con una organización social muy estructurada, un comportamiento global emergente observable, y una auto-organización clara [17].

Una explicación de este creciente interés en esta técnica, se debe a la posibilidad de incorporar de forma casi directa e intuitiva los comportamientos observados en el mundo real mediante un modelo computacional. Este hecho permite conseguir representaciones muy refinadas y detalladas de los individuos, con la esperanza de que este nivel de detalle permita mayor realismo al modelo [22].

Las características de heterogeneidad, representación espacial explícita e interacción local hacen del modelado basado en agentes una técnica más apropiada para dominios caracterizados por un alto grado de localización y distribución, dominados por la decisión discreta, frente al modelado basado en ecuaciones, más apropiado para sistemas centralizados dominados más por leyes físicas que por procesos de información (ver una completa comparación metodológica en [55]).

Los modelos de simulación social asumen una racionalidad limitada [71] de los agentes. Esto implica que la información con la que cuentan los agentes no es completa, ni sus objetivos están bien definidos, ni son capaces de optimizar completamente su

comportamiento (a diferencia de los agentes racionales en la economía, que asumen una racionalidad y homogeneidad completa) [56]. Los agentes son heterogéneos en sus identidades, rasgos, preferencias, gustos o memoria; su razonamiento puede ser más o menos racional, inteligente o ingenuo; sus comportamientos pueden cambiar a lo largo del tiempo, bien porque aprendan de su experiencia pasada, bien porque aprendan de la experiencia de los demás; y pueden moverse por un entorno en busca de la satisfacción de sus preferencias, para adaptarse a él o para modificarlo [23]. Según [6] la principal alternativa a la asunción de racionalidad completa es el comportamiento adaptativo. Los Sistemas Multi-Agente (SMA) hacen posible la construcción de modelos con agentes con un conocimiento imperfecto [26] y más realistas.

Utilizando la inteligencia artificial de los SMA no es necesario (aunque también lo admite si se considerase oportuno) modelar a base de ecuaciones o sistemas de ecuaciones, como es el caso de otros métodos de simulación (como la dinámica de sistemas desarrollada por Forrester y sus seguidores) y otras formas de elaborar modelos cuantitativos (modelos econométricos, de análisis multivariante, de ecuaciones estructurales, etc). Esto es debido a que la Inteligencia Artificial de cada agente (implícita al definir el comportamiento y características descritas), deviene en un comportamiento emergente global, actuando como base para definir la estructuras de interacciones de las variables o factores implícitas en dichas características, de modo que la conjunción de esta interactividad y sus características (más las reglas que definamos de actuación en función de características) sustituyen la función de las ecuaciones en otros modelos cuantitativos. Las representaciones mediante modelos de simulación acostumbran a ser más similares a los procesos del mundo real que los provenientes de modelos matemáticos [44].

## **2.4. Agentes Borrosos**

Podemos citar ahora algunos trabajos relacionados con los agentes basados en lógica borrosa [80], o “agentes difusos” (fuzzy agents). Así, [24] utiliza esta tecnología en un contexto similar a éste: para simular el comportamiento humano. La diferencia es que se basa en una aproximación “microscópica”, atendiendo a las emociones y personalidades de cada ser humano. La perspectiva de este sistema pretende analizar el comportamiento emergente global, y no el comportamiento de cada individuo. Por otro

lado, y siguiendo la línea descrita de la simulación social, son frecuentes las aportaciones relacionadas con la negociación y la economía. Así, [41] y [72] serían más ejemplos en este campo, pero más flexibles (y de comportamientos suaves) al utilizar agentes difusos.

## 2.5. Depuración y Generación de Lenguaje Natural

Atendiendo al uso de técnicas de depuración en SMA, existe un consenso en torno a su gran complejidad. Frente a complejas técnicas elaboradas para afrontar este problema [61], la típica vía es el uso de librerías como el famoso log4j [32] o equivalentes [63] [53].

En el contexto de la generación de historias en lenguaje natural, los trabajos que han sido usados en el pasado han tendido a ignorar la creación del mundo y el contexto en donde la historia se desarrolla, centrándose en la historia *per se*. Entre los principales ejemplos de modelos computacionales para contar historias centrados en el autor, podemos contar MINSTREL [76] y MEXICA [58]. Y se pueden citar algunos esfuerzos basados en un modelo del mundo: Tale-Spin [48] el clásico generador de historias inspirado en las fábulas de Esopo y el reciente [66] completamente basado en planificación.

Una posible explicación de la diversidad de enfoques puede encontrarse si los considera como aproximaciones parciales a la complejidad total del problema. Desde esta interpretación, cada enfoque se centra en una parte de aquel – las decisiones requeridas por el autor, la forma de la historia, las restricciones impuestas por el mundo – simplificando al centrarse sólo en una de ellas. El trabajo de [11] constituye el esfuerzo más significativo en el campo de la generación de lenguaje natural para enfrentarse a los desafíos de los textos narrativos. Se apoya en un planificador externo que define la línea a seguir en la historia, e implementa una Planificación del Discurso para producir la entrada del Realizador Superficial. Este último trabajo ha sido una inspiración para el desarrollo del módulo externo de generación de lenguaje que se utiliza en este sistema, desarrollado en el Capítulo 7. .

En relación a las formas de comunicación entre agentes, el clásico KQML está muy extendido [20], aunque también podemos encontrar otras elaboraciones lógicas muy complejas [16]. Las formas de “diálogo” entre agentes no son muy comunes a menos

que se traten de agentes de interfaz, ya que entre ellos pueden utilizar nomenclatura mucho menos compleja que la necesaria en el lenguaje natural

## **2.6. Agentes Complejos: BDI**

Algunas teorías del campo de la psicología han sido incorporadas al comportamiento y diseño de agentes, siendo la más extendida el modelo Creencias-Deseos-Intenciones (Believes-Desires- Intentions, BDI), [9]. En la evolución de los agentes a un nivel de sofisticación superior, definido en el punto 7.7, se utiliza dicho modelo BDI. Podemos citar múltiples trabajos, sin embargo se citarán trabajos que realizan recopilaciones y comparaciones entre la ingente cantidad de ellos. Una comparación con otras técnicas de modelado puede encontrarse en [27]. Una perspectiva formal para agentes sociológicos en [15], y otra conocida sobre cómo pasar de los conceptos teóricos del BDI a la implementación práctica en sistemas complejos en [64].

## **Capítulo 3. El Modelo Sociológico**

### **3.1 Perspectiva Global Preliminar**

La importancia del modelo sociológico subyacente al sistema es evidente. De hecho, la simulación es la “herramienta” que se utiliza para demostrar que el modelo teórico se corresponde con la realidad, y no al revés. Una buena aproximación teórica es necesaria, aunque en determinados casos se tendrán en cuenta las restricciones impuestas por criterios realistas desde el punto de vista computacional (eficiencia, limitaciones del framework...). Para realizar este modelo se ha contado con la ayuda del sociólogo ya citado, y con los conocimientos de ciencias sociales del alumno (por estar estudiando Ciencias Políticas).

Dada la imposibilidad de implementar al individuo en toda su complejidad, (al no disponer de un análisis completo del comportamiento humano desde la psicología) se hace necesario realizar un modelo simplificado de la realidad. Es más, es recomendable escoger previamente las variables de análisis (que se estudiarán en su evolución temporal) para determinar las variables influyentes, las que serán tenidas en cuenta. En particular, centrándonos en el problema de la evolución de los valores, se ha elegido estudiar la ideología y religiosidad de la población. Ambas variables poseen un alto grado de complejidad e implican un gran número de interacciones y retroalimentaciones. Así, un conjunto de atributos ejemplo serían el sexo, la edad, el nivel económico y educativo o el compromiso político y religioso, pudiendo ampliarse sucesivamente a medida que evoluciona el sistema. Es más, una vez construido y desarrollado, el número y diversidad de variables objetivo sería ilimitado. Y para otros contextos y problemas objetivo, se podrían escoger otros conjuntos de variables para definir al individuo.

Este modelo teórico se esfuerza por caracterizar cada entidad (individuos, grupos, relaciones, mundo) de forma que simplifique la realidad pero a su vez abarque los principales aspectos que afecten al problema dado. La elaboración del modelo no resulta tan compleja como su plasmación en un sistema funcional: debido a ello sólo se dispone

de un prototipo preliminar de lo que sería un sistema global que implemente todas las características y definiciones impuestas por el modelo.

El modelo basado en agentes trata de definir, en primer lugar, los individuos como agentes. A continuación, se procede con las interacciones posibles, a través de las entidades de orden superior (los grupos) y las relaciones propiamente dichas. Por último se han de tener en cuenta las restricciones e influencias del mundo cerrado en el que actúan. De esta forma se irá explicando en este capítulo el sistema, pasando del micro al macro en cada paso sucesivo.

### 3.2 El Individuo

Tanto los individuos como los grupos tienen una serie de atributos que les definen. Así, un ejemplo de individuo sería un varón (Sexo=masculino) joven (Edad= 20 años), universitario (Estudios= Uni) y de clase media (Nivel Económico= M), de izquierda moderada (Ideología=3.5) pero no creyente (Religión= NO). Este individuo está definido por algunos de los atributos que aquí se definen (el modelo intenta recoger todo el espectro de factores que influyan en la evolución de los valores).

El agente básico será el Individuo, que tendrá los siguientes atributos. En general conviene utilizar dominios para las variables que sean equivalentes a los utilizados en los distintos estudios y encuestas. Así pueden ajustarse convenientemente las condiciones iniciales, y comprobar resultados mucho más fácilmente.

Una vez definidos los atributos de cada individuo/agente, que corresponde a su “parte estática”, debe definirse sus aspectos “dinámicos”. Cada individuo está sujeto a un ciclo de vida que implica

Nacer .--> Crecer --> Relacionarse --> Reproducirse --> Morir

Por tanto, se necesitarán procesos de reproducción, de envejecimiento, y relación mutua, que se definirán más adelante. Los individuos, así pues, irán evolucionando dinámicamente, cambiando su comportamiento en función de su estado interno y de su entorno.

*Notación:*

- ←: Característica del atributo, o fuente de resultados

- →: Implicaciones que tiene el atributo
- [a,b]: Intervalo cerrado de números reales
- En gris, atributos secundarios, para una versión avanzada del sistema

<b>Atributo</b>	<b>Rangos de valores posibles</b>	<b>Comentarios</b>
Sexo	{Mujer, Varón}	→Ideología, Religión
Edad	[0,100]	← Pirámide población
Estudios	{∅, Pri, Sec, Uni, Doc}	← Condicionado por Edad, Economía, Familia →Ideología, Religión
Nivel Económico	{B, B-M, M, M-A, A}	→Ideología, Estudios, Religión
Ideología política	[1,10]	← Espectro ideológico →Implica tolerancia
Religión	{Ortodoxo, Baja Intensidad, Centrífugo, No religioso}	← Condicionado por Ideología, Economía, Edad, Familia... ←Conclusiones de estudios
Individualización	[0,1]	←Ideología, Valores →Ideología, Religión
Auto-expresión / Materialismo	[0,1]	←Ideología, Valores →Ideología, Religión
Valores	sequence<String>	← se pueden estudiar agregados mediante el factor de Individualización y el de Auto-expresión
Nivel Cultural	[0,100]	←Distinto de estudios, condicionado por Familia y Estudios
Tolerancia	[0,100]??	←Receptivo a influencia
Activismo	[0,100]??	←Implicación política/religiosa, condicionado por ideología. Característica avanzada.
Nacionalidad	String	←Característica avanzada que puede introducirse para estudios concretos
Localización	{Coordenadas}	←Estática en prototipo

Trabajo	{Paro, Temporal, Largo, Fijo, ...}	←Interrelacionado con Nivel Económico →Implica ascenso Economía e influye en Ideología
Grupo Amistades	{Conjunto de referencias a otros individuos}	←Grupo de origen (como Familia), con afinidad
Grupo Familia	{Conjunto de referencias a otros individuos}	→Implica influencia en otras variables, en función del tamaño, padres, hijos...
Entorno	{Conjunto de referencias a otros individuos}	←Conjunto de agentes cercanos, con los que puede comunicarse. Aunque al principio estático, es variable.

### 3.3 Los Grupos

Cada agente podrá relacionarse con los individuos de su entorno, pudiendo llegar a formar grupos de individuos. Los grupos no tienen entidad autónoma, y sólo existen y actúan a través de sus componentes. El entorno, a lo largo de su evolución, acogerá a múltiples grupos, que pueden nacer o extinguirse. Los individuos integrantes de un colectivo se influenciarán mutuamente, con un comportamiento guiado por sus atributos.

Un punto trascendental es la importancia relativa de los distintos grupos. Habría que calibrar la mayor o menor influencia de cada grupo en el individuo, en función de la cultura y configuración de la sociedad estudiada: familia, partidos, sindicatos, parroquia, amigos, etc.

Atributo	Rangos de valores posibles	Comentarios
Integrantes	{Conjunto de referencias a otros individuos}	
Número de Integrantes	{Naturales}	→Implica fuerza del grupo (frente a otros grupos)
Ideología Media	[1,10]	←Por ser variable de estudio, para

		construir espectros por grupos
(Variable de estudio) Media	[...]	← Al igual que el anterior, para cualquier variable que se pretenda estudiar
Varianzas de las variables de estudio, así como otros estadísticos de interés	[...]	← Para un mejor análisis y como complemento a las medias
Tipo	{Partido, Familia, Sindicato, ONG, Grupo educativo...}	→ Implica distintos comportamientos particulares (Jerarquía, ...)
Factor de cohesión	[0,1]	← Determinada por la intensidad del vínculo de sus integrantes, si está definida. → Expresa el vínculo de cohesión entre los miembros.

### 3.4 Las Relaciones

Los agentes se relacionan con los agentes de su entorno, que viene determinado por su localización. El grupo se relaciona sólo a través de sus miembros: no es una entidad independiente, pero sí estudiable independientemente.

Dos individuos que se relacionen entre sí y que pertenezcan a un mismo grupo, tendrán un **vínculo** (de amistad/afinidad). Se define entonces un atributo especial perteneciente a la relación entre dos individuos: la **intensidad del vínculo**:

- Sólo existe intensidad del vínculo si hay grupo común. Si se rompiera el grupo común, la intensidad desaparecería (a menos que haya otros grupos comunes).
- Si hay muchas similitudes, o si se pertenece a varios grupos comunes, la intensidad aumenta con el tiempo.
- A medida que se influyen mutuamente los individuos, al parecerse más el vínculo se reforzará.

Como se verá en el punto 6.2, la intensidad del vínculo se implementará al Borrosificar la relación de amistad. A continuación se detallan diversas fórmulas de comportamiento de los individuos.

*Notación:*

- $\in$ : Símbolo matemático de pertenencia a un conjunto.
- $\wedge$ : Símbolo matemático del AND lógico.
- $GR_t$ : Grupo de tipo  $t$ .
- $P \rightarrow Q$ : “La ocurrencia de P implica Q”
- Prob.: Probabilidad, determinada porcentualmente (0-100%).

<b>Fórmulas relacionales</b>	<b>Descripción</b>
Entorno $\rightarrow$ Comunicación	Localización cercana implica conocimiento mutuo y posibilidad de que exista relación.
Comunicación $\wedge$ Similitud grande en variable $var \wedge$ Ninguno $\in GR_t$ $\rightarrow$ Prob. de creación de grupo	Ejemplificación de la “amistad” o de la asociación por intereses comunes.
Comunicación $\wedge$ Similitud grande en variable $var \wedge$ Uno $\in GR_t$ $\rightarrow$ Prob. de captación por el grupo	Sintetiza la captación de nuevos miembros por el grupo.
Comunicación $\wedge$ Ambos $\in GR_t$ , común $\rightarrow$ Prob. influencia en variables “receptivas” $\wedge$ Prob. aumento de la intensidad del vínculo	Describe la mejora de las relaciones con el tiempo, y la influencia mutua en determinados atributos (Ideología, Nivel Cultural...) pero no en otros (Edad, Nivel Económico...).

### 3.5 El Mundo

Los agentes interactúan localmente formando grupos, pero el conjunto de agentes y grupos se sitúan en un Mundo con sus propiedades globales, que afectan a todos los agentes.

En este sistema se ha definido un modelo demográfico sencillo. Utilizando una escala de tiempo discretizada la evolución de la población se puede implementar fácilmente. La muerte se irá acercando con mayor probabilidad a medida se acerque a la media que se haya establecido (u otra distribución estadística). La reproducción estará sujeta a otras funciones de probabilidad que establecerán la edad media (según sexo) para tener hijos, el número de hijos por pareja, y otros parámetros que pueden hacerse más o menos flexibles según sea conveniente. En un principio se utilizarán distribuciones estadísticas normales (por lo que sólo es necesario definir medias y varianzas) y estos factores se han configurado para que se adapten a los parámetros demográficos españoles.

Como parte del modelo demográfico, se define distinto comportamiento de los individuos en función de su edad. Es decir, su **ciclo de vida**:

- *Niñez 0-14 años*: agente sin posibilidad de influir ni de tener pareja, aunque puede tener amigos.
- *Adolescencia 14-18 años*: mayor apego institucional, asunción menos crítica de valores dominantes. Poca probabilidad de buscar pareja estable
- *Veinteañeros 18-30 años*: apogeo del espíritu crítico. Ruptura y distanciamiento respecto a valores recibidos. Alta probabilidad de buscar pareja estable y tener hijo(s).
- *Treintena 30-40 años*: se matizan las posiciones mantenidas, posiciones menos radicales. También puede buscarse pareja y tener hijos, si no se ha hecho ya.
- *Madurez definitiva 40 y más*: se moderan más aun las posiciones. Mínima posibilidad de procrear.

De esta forma, el individuo-ejemplo anterior podría tener un grupo de cinco amigos (Tipo del grupo= Amigos y Número de Integrantes= 6) desde la infancia, dos padres y un hermano (Tipo del grupo= Familia, con relaciones especificadas). A medida que pase el tiempo, el chico conocerá a más gente (más amigos, más grupos), se casará (con otro agente de sexo opuesto, que no esté ya casado, que sea adulto... y restricciones similares), y tendrá dos hijos (la media española está sobre el 1.5). Llegado un momento, llegará a ser anciano y terminará por morir.

Los parámetros del modelo demográfico estático con los valores de la población española son:

- *Edad media de reproducción mujer:* 29 años
- *Edad media de reproducción hombre:* 32 años
- *Media de hijos:* 1,5 hijos/pareja
- *Muerte mujer:* 84 años
- *Muerte hombre:* 76 años

Hay varios puntos a tener en cuenta que conviene definir en este momento:

- *Individuos iniciales:* tomados de datos reales provenientes de encuestas, como se detalla en el punto 5.1
- *Nuevos individuos:* heredan las características de sus padres
- *Punto de partida inicial:* no en el momento actual, sino 20 años antes (años 80). Con esos datos iniciales, se puede comparar la evolución del sistema con la evolución comprobada de la sociedad de acuerdo a los datos de las encuestas X e Y.

<b>Atributo</b>	<b>Rangos de valores posibles</b>	<b>Comentarios</b>
Número de Individuos	{Naturales}	
Estadísticas	N/A	← Pirámide poblacional, Espectro ideológico, Variables macroeconómicas, Gráficas de Edad, Distintas Medias y

		Varianzas...
Restricciones	N/A	←Las implícitas, las correspondientes a la etapa de desarrollo, y las adicionales que se quieran introducir para estudios concretos
Gobierno/Estado	N/A	→Implica nuevas influencias y restricciones (sólo para una etapa avanzada del desarrollo)
Factores externos (Situación económica, Medios de comunicación)	N/A	→Implica nuevas influencias y restricciones (sólo para una etapa avanzada del desarrollo)

### 3.6 Límites del Modelo

- Los individuos y grupos tienen estas restricciones, que se irán relajando a medida que se amplíe el modelo:
  - Cada individuo puede tener una mínima posibilidad (en función de la Edad) de morir prematuramente. A medida que se va acercando a la edad media de muerte de su sexo, dicha probabilidad crece.
  - En el Modelo inicial: No se contemplan aficiones.
  - En el Modelo inicial: No se detallan las profesiones.
  - No existen empresas de momento, aunque podrían introducirse como un tipo más de grupos en una etapa avanzada.
  - En el Modelo inicial: Todos son urbanitas, no hay dualidad campo/ciudad. Aunque no sería complicado considerar distintos tipos de entornos, es sociológicamente válido el considerar España como una ciudad y tratarla como tal (por ser estadísticamente representativa).

- En el Modelo inicial: No existen agentes *cheaters*, o traidores/espías. El comportamiento de un agente está ligado a los grupos a los que pertenece y a su estado interno, y no puede mentir, hacer trampas o equivocarse.
- El tiempo está discretizado, por turnos o pasos.
- Existe evolución de las variables en función del tiempo (cambios en cada turno).
- La influencia mutua entre los individuos puede limitarse o anularse, por tener mucha mayor relevancia sociológica los cambios demográficos inter-generacionales y la herencia.

## Capítulo 4. Implementación: el Sistema Multi-Agente

### 4.1 Los Agentes

Cada individuo es definido como un agente, con unas características propias que los determinan. Tomando las principales características que han sido definidas en el modelo teórico, se decide implementar este subconjunto de ellas:

<i>Nítidas</i>	Números naturales	Edad, Sexo
<i>Categoría</i>	Tipo enumerado	Economía, Educación
<i>Continuas</i>	Números reales	Ideología, Religiosidad
<i>Grupales</i>	Conjunto de referencias a otros individuos	Familia, Amigos

Sus objetivos en la vida son relacionarse, reproducirse, e influir con sus ideas a su entorno. Posee un ciclo de vida según fue definido: Nacer --> Crecer --> Relacionarse --> Reproducirse --> Morir. Se han agregado los estados definidos en el modelo en tres estados (con distintos comportamientos) en función de su edad: niño, adulto y anciano. Cada estado vital se representa con un color distinto (el color también indica el sexo). Los niños no buscan pareja ni por tanto pueden tenerla o procrear, ni influyen en su entorno. Sin embargo, sí pueden tener amigos. Los adultos buscan pareja a medida se acerca su edad media de reproducción, pueden emparejarse y procrear, así como influir en su familia y amigos. Los ancianos no pueden tener hijos, y su probabilidad de morir va aumentando.

Estos agentes cumplen las siguientes propiedades:

- Autónomos*: toman sus propias decisiones sin intermediación del usuario
- Perceptivos/Reactivos*: reconocen otros agentes cercanos y reaccionan al nacimiento, muerte, o cambios de estos
- Iniciativa*: pueden entablar relaciones de amistad por iniciativa propia

- d. *Adaptativos*: se adaptan a los cambios del medio (p.ej., si se le muere su mujer, puede buscar otra... o si aparece un nuevo individuo en su entorno, pueden entablar comunicación con él)
- e. *Interacción local*: sólo tiene información de su entorno próximo (percepción subjetiva)
- f. *Test de agencia de Huhns-Singh*: si se incluye un nuevo agente (nacimiento), el comportamiento del sistema cambia sustancialmente. Este test garantiza que el sistema es un SMA.

## 4.2 Las Relaciones

Los cientos o miles de agentes están representados en el espacio, y se encuentran en continua interacción. Se han establecido dos tipos de relaciones o grupos: amistad/afinidad y familia. Los agentes pueden comunicarse con otros agentes cercanos, llevando a relaciones de amistad determinadas por su similitud. O, por otro lado, pueden formar núcleos familiares a medida que las nuevas generaciones nacen con cercanía espacial.

Las acciones principales que pueden realizar son:

- *Establecer Comunicación* → Sólo entre individuos próximos (interacción local)
- *Establecer Amistad* → Si existe comunicación y afinidad (son similares en cierto grado) hay una probabilidad de que surja. También puede surgir sin afinidad alguna, pero la probabilidad es mucho menor.
- *Encontrar Pareja* → Se busca el más similar de los amigos de distinto sexo, que no tenga pareja, ni sea familiar, que sea adulto, que no se lleven demasiada edad... Se emparejan y pueden o no tener hijos. Esta operación será redefinida y mejorada en la ampliación borrosa del Capítulo 6. .
- *Tener Hijos* → Los hijos heredan las características paternas y nacen en una posición espacial cercana. El número de nacimientos sigue una normal con media la de la población española (o la configurada).
- *Ejercer Influencia* → Ejerce influencia sobre las características mutables (por ejemplo, sexo y edad no, pero ideología y religiosidad sí) de los amigos y familiares. Esta característica puede desactivarse, pues para el estudio

sociológico macro es mucho más importante la influencia generacional, y puede preferirse aislar su importancia.

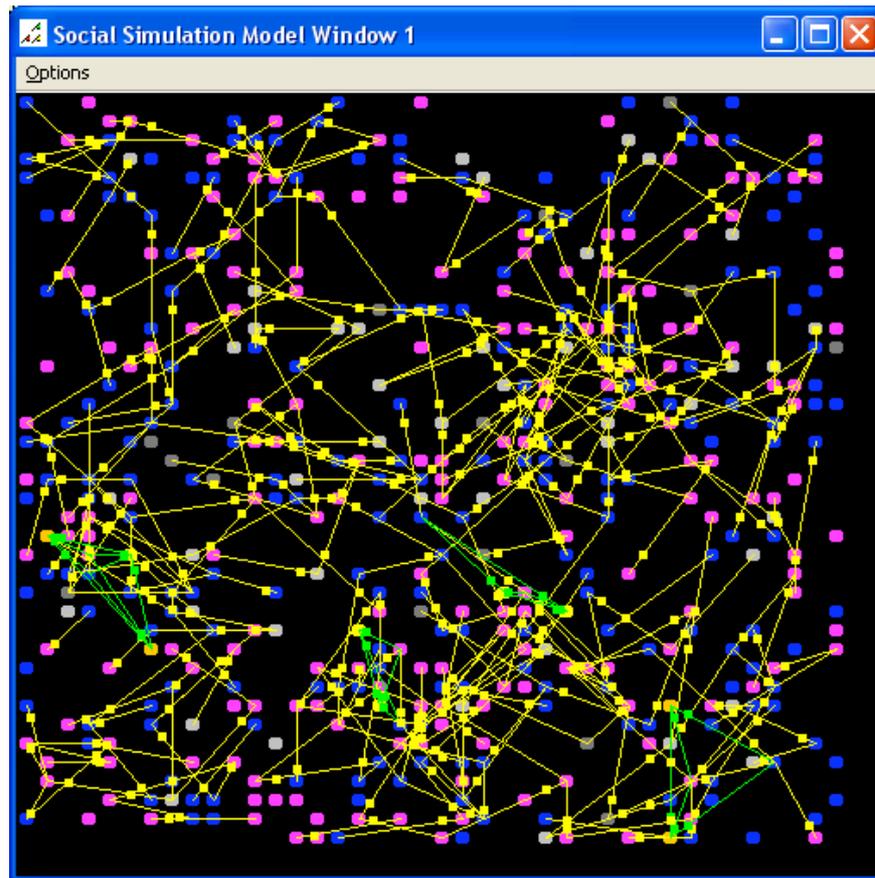
### 4.3 El Sistema Global

El sistema se ha implementado acorde con el modelo sociológico subyacente, con los parámetros demográficos que corresponden a la pirámide poblacional española: número medio de hijos, edad media de muerte para hombres y mujeres, etc (explicados en el punto 3.5). El tiempo se encuentra discretizado en pasos y años (50 pasos = 1 año) y se dispone de diversas gráficas que recogen la evolución del sistema en tiempo real. En cada paso cada agente puede realizar varias acciones (definidas en el punto anterior).

Sin embargo, los límites tecnológicos actuales dificultan la simulación de cientos de miles o millones de agentes/individuos, que en un principio se requerirían para la simulación de ciudades o naciones. Por lo tanto, se plantea una disyuntiva:

- Restringir la simulación a una población pequeña, como puede ser un pueblo rural o a una porción de la sociedad, como podría ser un barrio marginal.
- Utilizar métodos estadísticos para simular una muestra representativa de una sociedad real mucho mayor. Así, los resultados de las interacciones de unos cientos o miles de agentes serían extrapolables y comparados con la sociedad real de cientos de miles o millones.

Dados los objetivos de este modelo, dirigido a simular la evolución de la sociedad española, se ha optado por la segunda opción. El sistema puede manejar sin problemas 10.000 agentes (con tiempos razonables). Se utilizará como población inicial datos reales provenientes de una muestra estadística de la población española, mediante encuestas sociológicas. Debido a ello, la configuración típica será de 500 agentes iniciales. El uso de estas encuestas será profundizado en el punto 5.1. Todo esto nos permitirá analizar el comportamiento emergente ya comentado, y así, estudiar los grupos, dinámicas, y distintas tendencias que se observen.



**Figura 1:** La simulación social en funcionamiento (amarillo: amistad; verde: familia)

## 4.4 Entorno Utilizado

Se eligió Java para su desarrollo, atendiendo al potencial del lenguaje y a la experiencia del alumno con él. Como entorno de desarrollo se eligió Eclipse [34], la mejor plataforma de desarrollo de código abierto actualmente. Para el desarrollo de agentes en Java existe JADE, ampliamente difundido. Sin embargo, dadas las limitaciones de JADE para este gran número de agentes, se ha optado por utilizar un framework específico para simulación de agentes. Entre los múltiples disponibles se ha optado por Repast [33], la opción de código abierto más eficiente y de mayor funcionalidad [74]. Esta herramienta tiene a su favor, entre otras, estas características:

- Framework específico para redes sociales
- Genera gráficas dinámicas
- Importa/Exporta Tablas
- Librerías matemáticas, y para técnicas de Inteligencia Artificial

- Lectura y modificación de los agentes en ejecución
- Distintos hilos de ejecución simultáneos para la distribución más eficiente de las tareas

Una clasificación de paquetes modular y flexible, usando algunos patrones de diseño, ha permitido la implementación de módulos independientes y la ampliación por etapas crecientes del sistema global. Así, el sistema obtenido es fácilmente ampliable y configurable. Los parámetros demográficos y otros factores ya comentados pueden definirse en cada simulación. También el número de agentes, el tamaño del espacio bidimensional o la rapidez de evolución (equivalencia de pasos del programa por año). Se puede configurar automáticamente para que refleje la evolución de un país concreto, o incluso para importar datos de encuestas que especifiquen los atributos de los agentes, reflejando el comportamiento de la población dada.

## 4.5 Diagrama de Clases

En la Figura 2 se muestra el diagrama UML de los distintos paquetes y principales clases del Sistema. A continuación se explica brevemente la estructura de implementación:

- ***social.model***: contiene las clases que otorgan estructura al sistema global: el modelo teórico ejecutable, que rige el comportamiento del sistema (*Model*), el modelo demográfico y la estructura de clases (*DemographicModel* y *SocialStructure*), y dos factorías, una de individuos y otra de individuos en función de su clase.
- ***social.world***: contiene las dos clases relacionadas con el "entorno": *WorldSpace* (el entorno virtual) y *Bond* (el enlace de color entre nodos).
- ***social.indivs***: contiene la clase abstracta *AbstractIndiv*, con los principales métodos de los individuos/agentes, y una interfaz que agrupa constantes.
- ***social.indivs.types***: subpaquete del anterior, contiene "tipos" de individuos (*Worker*, *Businessman*...) pero no se utilizan actualmente al cargarse los datos de los individuos de una tabla Excel (como se explica más adelante). Así, ahora todos los individuos son de tipo *Common*. Si se quisiera hacer pruebas

con porcentajes de clase alta, media, baja sin tener datos de encuestas, se pueden generar automáticamente utilizando estas clases.

- ***social.relations***: las relaciones posibles entre individuos (*Friends, Family*), ambas heredando de la clase abstracta *Group*.
- ***social.attributes***: los atributos principales de cada individuo, que heredan de la interfaz *Attribute*.

A continuación se detalla cómo se ha utilizado el framework proporcionado por Repast:

- Cada *AbstractIndiv* extiende la clase *DefaultDrawableNode* (para que cada agente sea un nodo dibujable).
- Cada *Bond* extiende *DefaultEdge* (dando entidad a los enlaces).
- *Model* extiende *SimModelImpl* (la clase principal con su planificador, conjunto de agentes, evolución temporal, etc) y contiene un *Schedule* (planificador), un *DisplaySurface* (espacio visual donde se observan los agentes, vinculado al *WorldSpace*), y varios *OpenSequenceGraph* (tantas gráficas dinámicas como se deseen añadir).
- *WorldSpace* (espacio real donde se sitúan los agentes con sus propiedades y operaciones) contiene un *Object2DGrid* (grid de dos dimensiones que puede contener cualquier tipo de nodo, en este caso los nodos-agente).

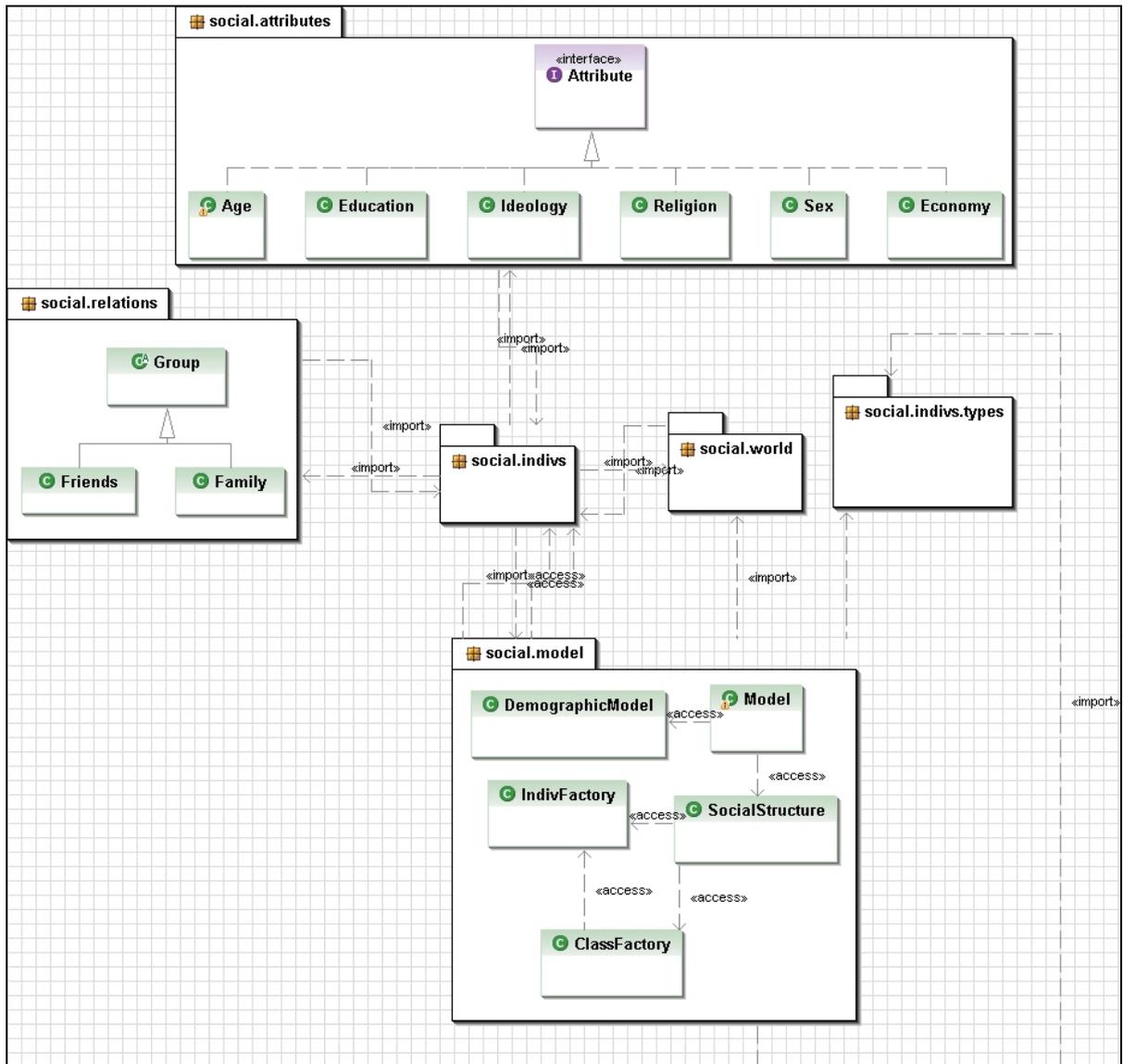


Figura 2: La organización de paquetes

## Capítulo 5. Resultados Sociológicos

### 5.1 Los Datos Empíricos

Para validar el prototipo se han comparado los resultados que genera con los datos recogidos de la realidad. Así, siguiendo el método científico, una vez decidido el fenómeno a estudiar y realizado un modelo teórico del mismo, se procede a realizar una simulación (en laboratorio o equivalente). Estos datos simulados serán comparados con los datos recogidos de la realidad, en este caso, representados por la Encuesta Europea de Valores (EEV) [54]. La EEV se realiza periódicamente (cada 10 años, concretamente) en toda Europa y recoge los resultados por países, permitiendo disgregar los resultados correspondientes a España.

Dado que nuestro interés era que la sociedad de cientos de agentes fuese en sus aspectos cualitativos y cuantitativos análoga a la sociedad de 1980, hemos elegido por muestreo aleatorio simple una sub-muestra de la Encuesta Europea de Valores (EVS, 1980) llevada a cabo en España, y hemos asignado a 500 agentes las características de 500 individuos reales, (entrevistados) en las variables elegidas. De modo que de forma casi automática nos aseguramos al asignar características a los agentes la similitud distributiva de dichas características respecto a la sociedad real (propiedad que ya cumplía la encuesta). Utilizar una encuesta como patrón de asignación de características de sociedades de agentes simplifica las tareas de definición y distribución de características, a la vez que dota al modelo artificial de una base muy realista (si la encuesta es buena, y si en esta se encuentran las variables que buscamos).

De este modo, el sociólogo colaborador, a partir de la EEV de 1980, construyó una tabla Excel de 500 individuos representativos de la población española con sus características asociadas. El sistema fue modificado para poder importar dichos datos, generando 500 agentes iniciales con las características suministradas.

Hay que hacer notar en este punto que, debido a la amplia información disponible, y a los conocimientos de nuestro sociólogo experto en el tema, para estos resultados experimentales del prototipo nos centramos en la evolución de los valores religiosos. El sociólogo ha definido cuatro grandes patrones de religiosidad católica [3]: ‘eclesial’, ‘laxa’, ‘alternativa’ y ‘no religiosa’. Los ‘eclesiales’ son católicos practicantes que

confían en la Iglesia y asisten a misa semanalmente. Los ‘laxos’ practican una religiosidad de baja intensidad, con un nivel de práctica sensiblemente más bajo. Los ‘alternativos’ son personas con fuerte identidad religiosa pero que no confían en la Iglesia y no asisten regularmente a servicios religiosos. Por último, los ‘arreligiosos’ son ciudadanos que ni confían en la Iglesia ni se consideran personas religiosas (la mayoría agnósticos o ateos). Agregando los datos que nos proporciona la EEV podemos obtener los porcentajes de estos patrones cada 10 años. Asimismo, el sistema fue adaptado para agregar los datos de religiosidad de forma adecuada para medir dichos patrones y poder realizar comparaciones. La modelización de este problema desde la perspectiva de los agentes (usando la metodología INGENIAS), se ha descrito en el punto A.1: Artículo A.

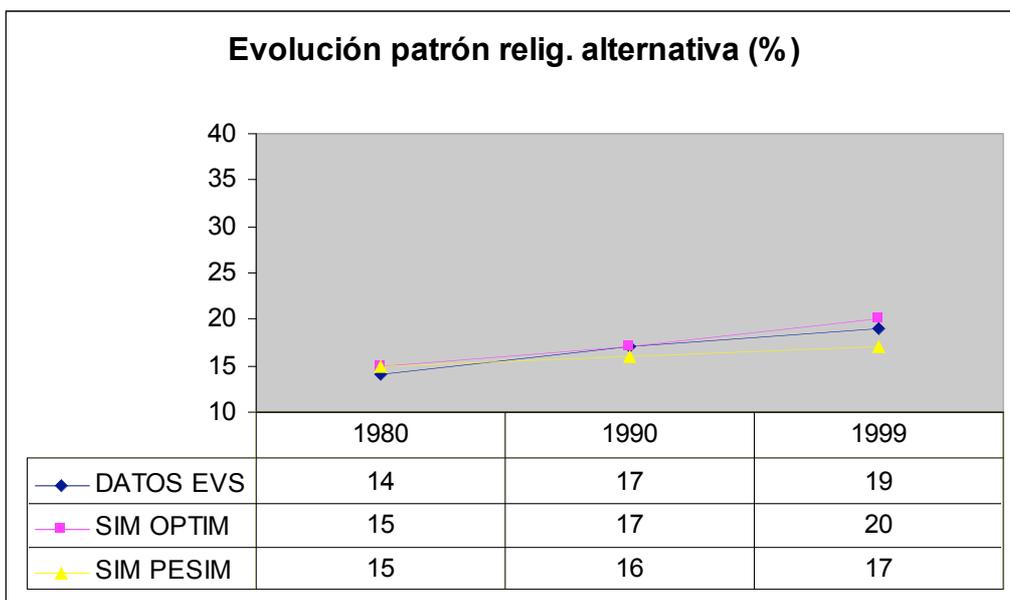
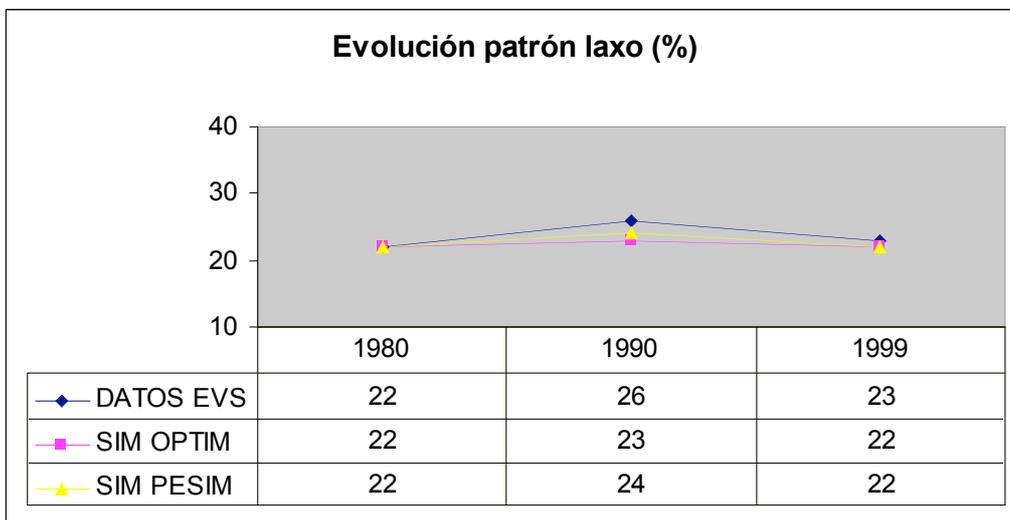
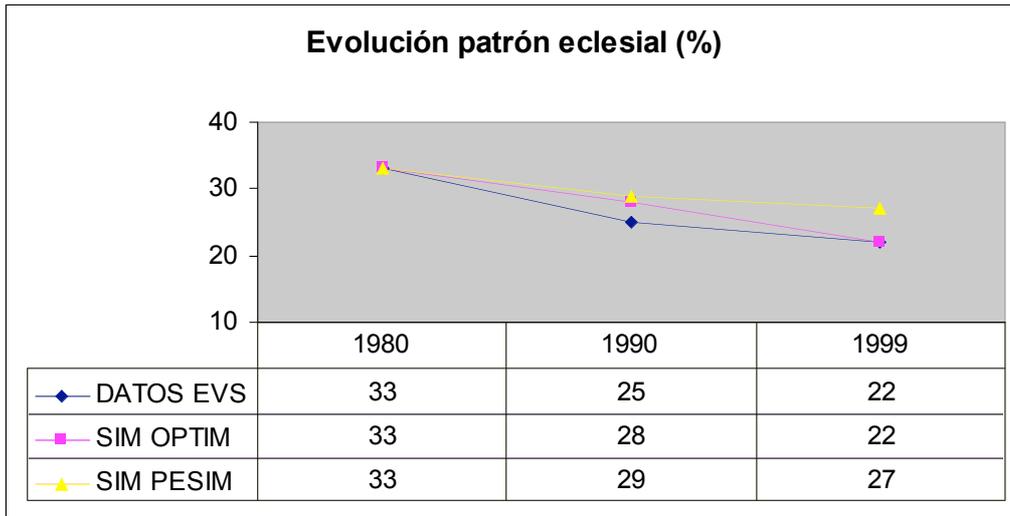
## 5.2 La Experimentación

Se destaca que, como se ha citado anteriormente, se recurre a la desactivación de la “influencia mutua” de los agentes, para aislar el componente inter-generacional y la herencia. En este estudio macro-sociológico concreto la evolución de los individuos a lo largo de su vida pasa a un segundo plano, aunque es importante que el prototipo soporte dicha interacción entre individuos para futuros estudios complejos.

Habiendo cargado los datos de 1980, se hizo evolucionar al sistema 20 años, hasta el año 2000, ejecutándolo repetidas veces y extrayendo máximos y mínimos para minimizar el efecto de aleatoriedad (y pudiéndose observar gran estabilidad en las tendencias). A pesar de la relativa simplificación del prototipo (necesaria para dar paso a posteriores desarrollos, una vez comprobado que un sistema básico funciona), se ha conseguido ya una simulación de la evolución de los patrones de religiosidad bastante realista, como reflejan los gráficos y datos que se presentan a continuación. En ellos se comparan los resultados obtenidos para cada patrón de religiosidad, cada 10 años (los datos disponibles de las EEV). De las múltiples pruebas de simulación efectuadas se han elegido las dos soluciones más extremas, la ‘óptima’ (la más ajustada a los datos reales) y la pésima (la menos ajustada a los datos reales).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Las diferencias en 1980 son debidas a que en la simulación damos los datos de la submuestra (n=500) y en ‘DATOS EVS’ son el total de la muestra. (Obedecen al muestreo aleatorio).



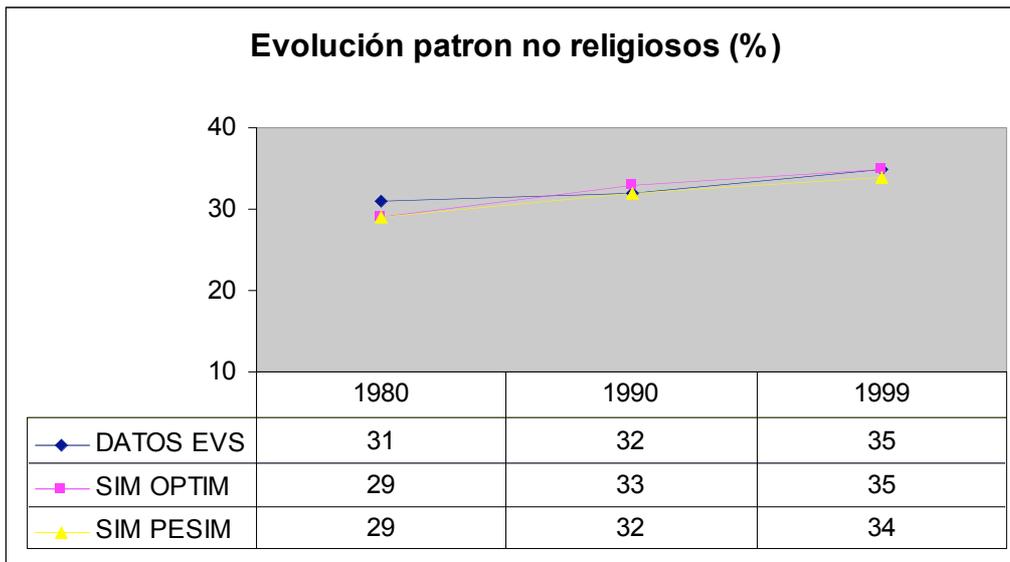


Figura 3: gráficas comparativas de la evolución de cada patrón religioso, según las EEV y el sistema de simulación social

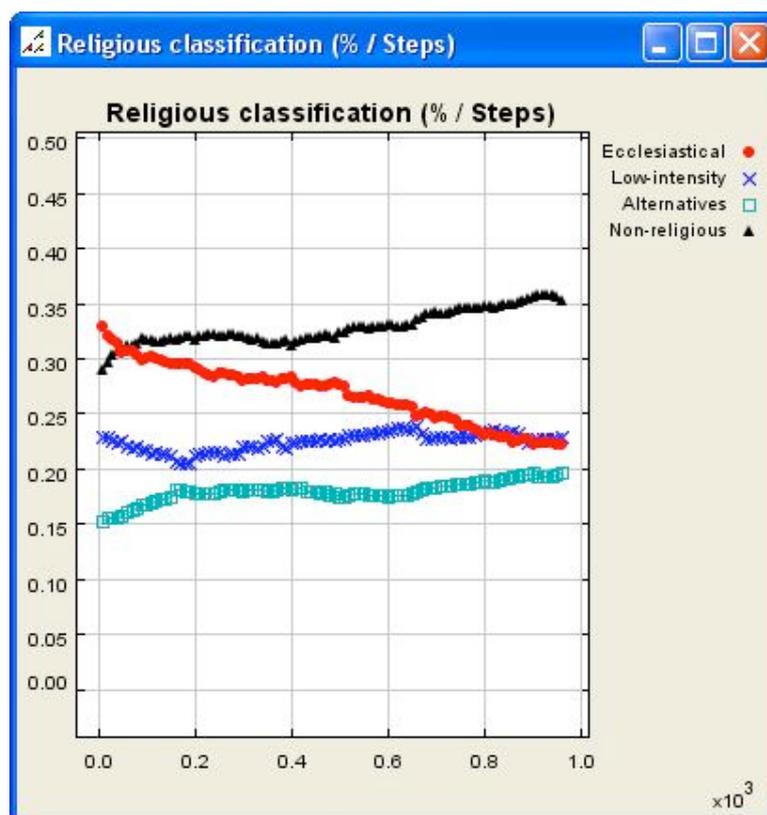


Figura 4: evolución de los cuatro patrones religiosos según el sistema de simulación social, en la ejecución óptima (1000 pasos = 20 años)

Todas las simulaciones se ajustan bastante bien a los datos conocidos, incluso la llamada ‘pésima’. El motivo de que la simulación funcione con un modelado aún tan limitado, responde a la conjunción de dos hechos. De un lado a la importancia e intensidad de los cambios intergeneracionales en la evolución de patrones de religiosidad. De otro, a la fuerte inercia del patrón demográfico como factor que permite explicar y predecir aquellos cambios sociales (como los cambios de valores o los cambios en la religiosidad vividos en España) sujetos a fuertes diferencias intergeneracionales, y cuya variación intra-generacional no se acusa tanto.

La simulación tiene en cuenta que los más religiosos (normalmente de mayor edad) tienden a desaparecer con el transcurso del tiempo, y que los que nacen están siendo educados por generaciones de padres que son las menos religiosas en la España de 1980. Como consecuencia, su religiosidad tiende a disminuir, con lo que disminuye el patrón de religiosidad eclesial y avanza el patrón ‘no religioso’ y de religiosidad ‘alternativa’ (no eclesial). La simulación pone de manifiesto la muy importante capacidad predictiva de la dinámica demográfica, al menos en el periodo de tiempo estudiado. Se trata de algo que ya se había observado en un estudio anterior [2] y que ahora se ratifica y estima, en base a lo cual es razonable predecir para un futuro próximo un alejamiento de la Iglesia mayor que el actual, merced al cual seguirán incrementando los patrones de no religiosidad y de religiosidad alternativa en detrimento de los otros dos. Tan solo teniendo en cuenta la inercia del factor demográfico.

La gran similitud entre los resultados reales observados y los que proporciona el sistema corroboran la viabilidad de esta técnica, que sin duda posee un **gran potencial predictivo**. Un análisis más detallado de dicho potencial y del análisis sociológico del sistema, se realiza en el punto A.8: Artículo H. Hay que tener en cuenta que en las ejecuciones mostradas no se variaban los parámetros del sistema. Para una comparación al variar alguno de ellos, consultar el punto A.6: Artículo F.

Sin embargo, existen varios problemas a solucionar: los niños no realizan encuestas, por lo que no aparecen entre los agentes importados de la EEV. Además, en 20 años no influye el cambio generacional: cuando se sustituye una generación de adultos por la siguiente, elemento importante en la evolución de las sociedades.

## Capítulo 6. Ampliación: Lógica Borrosa

### 6.1 Preliminares sobre Lógica Borrosa

“Lo central en la lógica borrosa (o lógica difusa, o “*fuzzy logic*”) es que, de modo distinto a la lógica clásica de sistemas, se orienta hacia la modelización de modos de razonamiento imprecisos, los cuales juegan un rol esencial en la destacable habilidad humana de trazar decisiones racionales en un ambiente de incertidumbre e imprecisión. Esta habilidad depende, en cambio, de nuestra habilidad de inferir una respuesta aproximada a preguntas basadas en un conjunto de conocimiento que es inexacto, incompleto o no totalmente confiable” (Zadeh, 1988).

Tal y como Zadeh expone en la frase anterior, si la lógica clásica esta considerada como la ciencia de los principios formales y normativos del razonamiento, la lógica borrosa define los principios formales del razonamiento aproximado, siendo capaz de reproducir los modos usuales del razonamiento humano basando la certeza de una proposición en una cuestión de grado. Esta lógica permite representar el conocimiento común, mayoritariamente del tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático a través de la teoría de conjuntos difusos que generaliza la teoría de conjuntos clásica.

Un conjunto borroso  $\mu$  sobre un universo  $X$  asigna un grado de pertenencia a cada elemento en el intervalo  $[0, 1]$ , y no en el conjunto  $\{0, 1\}$  como los conjuntos clásicos, que pasan a ser un caso particular de conjuntos borrosos [80].

Las operaciones conjuntistas de unión, intersección y negación de conjuntos borrosos pueden definirse mediante operadores llamados Conorma Triangular o t-Conorma, Norma Triangular, o t-Norma y operadores de negación, generalizando los operadores lógicos OR, AND y NOT. A continuación se procede a definir formalmente diversas operaciones y relaciones borrosas, conceptos que serán utilizados en el siguiente punto.

*Definición:* Una operación binaria  $T [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  es una *t-norma* [70] si satisface:

- $T(1, x) = x$

- $T(x, y) = T(y, x)$
- $T(x, T(y, z)) = T(T(x, y), z)$
- Si  $x \leq x'$  and  $y \leq y'$  entonces  $T(x, y) \leq T(x', y')$

Sea  $X$  un conjunto clásico. Una *relación borrosa* (o fuzzy) es una aplicación  $R: X \times X \rightarrow [0, 1]$ , es decir, una relación borrosa sobre  $X$  es un conjunto borroso sobre  $X \times X$ .

Una relación borrosa  $R: E \times E \rightarrow [0, 1]$  es *T-transitiva* si  $T(R(a, b), R(b, c)) \leq R(a, c)$  para todo  $a, b$  y  $c$  pertenecientes a  $E$ , considerando  $T$  una t-norma triangular [37].

Dada una t-norma  $T$  y una relación borrosa  $R$  en un universo finito, existe una única relación borrosa t-transitiva  $A$ , que incluye  $R$ , y si la relación t-transitiva incluye  $R$  entonces esta incluye también a  $A$ . Esto se conoce como el *cierre t-transitivo* de  $R$  [51].

Las *indistinguibilidades* [75] generalizan a las relaciones de equivalencia clásicas y se utilizan para definir valores de “similitud” [79] o distancias generalizadas.

Siendo  $T$  una t-norma, una t-indistinguibilidad de una relación borrosa en un universo  $E$ ,  $S: E \times E \rightarrow [0, 1]$  verificará [77]:

- Reflexividad:  $S(a, a) = 1$  para todo  $a$  en  $E$ .
- Simetría:  $S(a, b) = S(b, a)$  para todo  $a, b$  en  $E$ .
- T-Transitividad:  $T(S(a, b), S(b, c)) \leq S(a, c)$  para todo  $a, b, c$  en  $E$ .

Sea  $N$  una negación, y  $T$  una t-norma. Se llama *t-conorma dual* de  $T$ , respecto a la negación a la t-conorma definida por  $T^*(x, y) = N(T(N(x), N(y)))$ .

### Proposición 1

Sea  $N$  una negación fuerte. Si  $d$  es una  $T^*$ -distancia entonces  $S = N(d)$  es una  $T$ -indistinguibilidad.

### Demostración:

$$1) \quad S(a, a) = N(d(a, a)) = N(0) = 1.$$

$$2) \quad S(a, b) = N(d(a, b)) = N(d(b, a)) = S(b, a) \text{ para todo } a, b \text{ de } E$$

Si la distancia  $d$  verifica la  $T^*$ -desigualdad triangular, entonces  $T^*(d(a, b), d(b, c)) \geq d(a, c)$  para todo  $a, b, c$  de  $E$ . Aplicando la negación  $N$ , se tiene que

$$N(T^*(d(a, b), d(b, c))) \leq N(d(a, c)), \text{ por lo tanto}$$

$T(N(d(a, b)), N(d(b, c))) \leq N(d(a, c))$ , y

$T(S(a, b), S(b, c)) \leq S(a, c)$  por lo que  $S = N(d)$  es una relación borrosa T-transitiva.  
 €

## 6.2 Aplicación en este Contexto

La lógica borrosa se está extendiendo como complemento de sistemas complejos, dado el amplio número de sistemas que manejan conocimiento aproximado o con incertidumbre. En particular, la lógica borrosa pretende acercarse de forma natural a la forma de tomar decisiones humanas. Debido al conocimiento impreciso y vago de las ciencias sociales, éste es un ámbito muy receptivo a ser tratado con esta herramienta. Existen numerosos conceptos, como amistad o ideología, que no tiene mucho sentido representar de forma “nítida”. Se pretende borrosificar distintos aspectos del sistema para potenciar su expresividad, hacerlo más consistente con el modelo sociológico subyacente (y por tanto con la realidad simulada) e incluso deducir más conocimiento del sistema.

Así, tiene sentido un acercamiento de las operaciones de borrosificación a un contexto de interrelación entre la simulación automática y los estudios sociales. Aunque el sistema de agentes que se toma como base ya tiene una potente expresividad, se considera que ésta puede ampliarse e incluso hacerse más clara para los sociólogos observadores de la herramienta. El manejo directo de conceptos con los que los humanos estamos familiarizados es mucho más cómodo que el forzar a los observadores no técnicos a adaptarse a la terminología del sistema. Es más, las operaciones borrosas nos permitirán deducir mayor conocimiento de los mismos datos, resultando más potentes que las operaciones nítidas.

Como ya se ha comentado, en el sistema existen dos relaciones posibles entre individuos: vínculos familiares y de amistad. El vínculo familiar, entendiéndose como familia directa (pareja, hijos, hermanos), se considerará nítido, porque aunque podría haberse considerado borroso con grados de cercanía, no proporciona información práctica. En cambio, la relación de amistad sí que está predispuesta para su borrosificación directa: el que una persona sea amigo o no lo sea es irreal, ya que en la realidad se da un continuo de grados crecientes de amistad. Así, la relación nítida de amistad se transforma en una relación borrosa, con valores reales entre 0 y 1. Esto se

corresponde claramente con la intensidad del vínculo definida en el modelo (en el punto 3.4).

La relación de amistad tiene gran importancia en el sistema, al determinar no sólo los grupos de afinidad que se forman, sino también las futuras parejas de los individuos, con los que formarán una familia. A la hora de elegir pareja, en el sistema originario el individuo elige entre su círculo de amigos su pareja “ideal”, entendiéndose la que cumple ciertas características (que no tenga ya pareja, que sea de sexo opuesto...) y además sea “muy similar” a él. Ahora, puede añadirse otro criterio para elegirla: el grado de “amistad” que los une, la fortaleza del vínculo. Pero para una adecuada agregación de la similitud y la amistad, convendría que la similitud viniera dada también en términos borrosos. Así se conseguiría, además, una normalización de los atributos de los individuos y una ponderación mucho más adecuada que la del sistema nítido, considerada incluso burda.

Así, se procede a la normalización de las características de los individuos en el intervalo  $[0,1]$ . Esta normalización depende del tipo y rango de valores de cada atributo, existiendo atributos escalares, booleanos, o reales. Se usa un método de normalización lineal. Una vez normalizados, se debe obtener un valor de “similitud”, por lo que necesitamos una indistinguibilidad, que como se ha comentado podemos obtener como negación de una distancia. Para la negación, al ser valores normalizados, podemos usar la habitual en lógica borrosa:  $N(x)=1-x$ . Y la distancia puede obtenerse al comparar los atributos de los individuos cuya similitud se desea obtener:  $d1(x,y)=|x-y|$ .

Aplicando la proposición 1, las relaciones así obtenidas son  $W$ -indistinguibilidades, donde  $W$  es la  $t$ -norma de Lukasiewicz. Esta relación de similaridad resulta ser mucho más exacta que la burda similitud que se tenía en el sistema nítido, al tener en cuenta las distancias.

Teniendo “lo parecidos” que son los individuos en cada uno de sus atributos, sólo se necesita conjugarlos con una agregación (como la media aritmética) para obtener el valor de similitud total. Así:

- Distancia entre atributos de dos individuos A y B:  $d(at_A, at_B)=|at_A-at_B|$
- Negación:  $N(a)=1-a$
- Similaridad de un atributo:  $S_{at}=N(d(at_A, at_B))$
- Similaridad entre A y B:  $S= \text{Media}(S_{at-i})$

Y se consigue una operación de ‘similitud’ borrosa para comparar los individuos. Esta operación servirá para calcular la pareja entre los círculos de amigos, conjugándolo, como ya se ha indicado, con el grado de amistad. El grado combinado resultante permitirá obtener parejas más similares. Pero es más, esa relación de similitud se usaba en el sistema original a la hora de convertirse en amigos los individuos del entorno cercano. Ahora, mucho mejor regulada, y con una amistad borrosa, puede utilizarse para que, en función de lo “similares” que sean dos individuos cercanos, se conviertan en mejores o peores amigos.

### 6.3 Aplicación del Cierre T-Transitivo

Habiendo borrosificado varias características del sistema, se ha decidido dar un paso más: utilizar la lógica borrosa para deducir mayor conocimiento del sistema. Una operación muy adecuada para la extracción de conocimiento es el cierre t-transitivo. A través de la aplicación sucesiva de la propiedad transitiva, permite deducir la influencia de unas variables en otras lejanas (los múltiples caminos de longitud variable entre dichas variables). Esta operación encaja perfectamente con la transitividad natural de la relación de amistad: el amigo de mi amigo es un poco amigo mío. Así, en un sistema con decenas de individuos en el que algunos son amigos, se puede deducir grados de amistad menores en terceros. Y a su vez, esos grados de amistad menores pueden influir por transitividad en otros. De esta forma, el cierre t-transitivo permite extraer nuevo conocimiento: las relaciones de amistad entre individuos que en un principio parecería que no eran amigos, y en realidad sí lo son “un poco”. El cierre t-transitivo se suele hacer con la conjunción de operaciones Max-T, siendo T normalmente la T-norma Mínimo. Sin embargo, dadas las características de la relación de amistad, se ha optado por utilizar la T-norma Producto (pues el amigo de mi amigo es menos amigo), realizando así el cierre t-transitivo Max-Prod. Es sencillo justificarlo con un ejemplo: “el amigo de mi amigo es *un poco* amigo mío”. ¿Cómo calcular ese “un poco”? Tenemos la relación borrosa  $Am$  que indica el grado de amistad entre cada par de individuos. Por ejemplo, si  $Am(A,B)=0.4$  y  $Am(B,C)=0.6$ , entonces, se puede elegir entre calcular la amistad entre A y C utilizando distintas lógicas borrosas a través de un amigo común B:

- Lógica de Zadeh:

$$Am(A,C)= \text{Min}(0.4,0.6)= 0.4$$

- Lógica del Producto:

$$Am(A,C)= \text{Prod}(0.4,0.6)= 0.24$$

- Lógica de Lukasiewicz:

$$Am(A,C)=W(0.4,0.6)= \max(0,a+b-1)= 0$$

Claramente, el producto es la más adecuada para representar la transitividad en la amistad. Para realizar este cierre es estrictamente necesario operar con matrices de tamaño  $N \times N$ , siendo  $N$  el número de agentes del sistema. Como se verá más adelante en el punto 8.1, el cierre tiene dos defectos claros: en primer lugar, es una operación centralizada, en lugar de distribuida como el resto; en segundo lugar, sus grandes necesidades de cálculo repercuten en la eficiencia de la simulación.

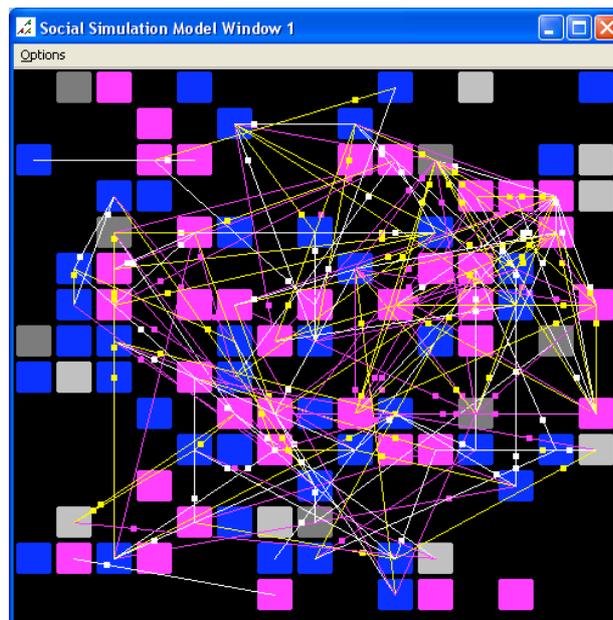


Figura 5: el sistema en funcionamiento, con distintos tipos de amistad entre los agentes. Se muestran “pocos” agentes para poder distinguir claramente las relaciones

## 6.4 Conclusiones, Resultados y Trabajo Futuro

El uso de relaciones borrosas de similaridad ha permitido representar mejor la información del grado de amistad entre agentes sociológicos, y ha permitido inferir un grado de amistad entre distintos agentes mediante el cierre T-transitivo, que ha perdido

mucha menos información que representando la amistad con relaciones clásicas y aplicando el cierre transitivo clásico. Dicha información nueva ha sido útil para otros procesos de inferencia con entradas borrosas, como el grado de parentesco entre agentes o grados de candidatura a emparejarse, que combina entradas borrosas como la amistad inferida, similitud ideológica, etc. y entradas nítidas como el sexo de los candidatos. La relación borrosa que resulta de agregar algunas relaciones nítidas (como la relación ‘ser de distinto sexo’) con varias relaciones borrosas de indistinguibilidad y el cierre producto-transitivo de la relación borrosa ‘amistad’ ha sido aplicada con éxito para inferir qué individuos se emparejan. En la Figura 5 puede observarse el sistema en funcionamiento con unos 100 agentes, y múltiples tipos de amistad (de distintos colores) entre los individuos.

Sobre el posible trabajo futuro que podría realizarse en esta dirección cabe señalar que ofrece múltiples posibilidades. Se podrían definir varios conjuntos borrosos asociados a cada atributo (con etiquetas sintácticas asociadas: joven, viejo... asociados a Edad, por ejemplo), y con ellos realizar inferencia mediante reglas proporcionadas en lenguaje natural por el sociólogo: “Cuando el individuo es *muy joven* es *más* influenciado, y cuando es *anciano* sólo es *un poco* influenciado”. La herencia de los hijos podría hacerse mediante una operación de composición borrosa, muy apropiada para este caso. Los estados de los agentes podrían borrosificarse, consiguiendo un comportamiento suave en lugar del actual “salto” en cuanto se cumple cierta edad.

No se profundiza más en este punto por estar detallado ampliamente en los puntos A.2: Artículo B (sistema implementado) y A.3: Artículo C (generalización y posibles líneas de evolución futura), además de en el Capítulo 8. de conclusiones.

# Capítulo 7. Ampliación: Generación de Lenguaje Natural

## 7.1 Introducción

Debido al enfoque multidisciplinar del proyecto, se hace necesaria la íntima colaboración entre sociólogos e informáticos para su futura ampliación. Si como se pretende, este sistema constituye una herramienta para la experimentación en Sociología, deberá ser comprendido y accesible por sociólogos que, sin embargo, no tienen conocimientos de programación usualmente. Entre los aspectos a considerar está la presentación de resultados. Aunque las gráficas de salida ofrecen información analítica sobre el comportamiento del sistema a nivel macro, se echa en falta una mayor facilidad para la comprensión a bajo nivel.

Así pues, hay que proporcionar información lo más sencilla posible al observador no familiarizado con el sistema. Una salida comprensible que recogiera eventos del contexto facilitaría la comprensión de la problemática que el sistema trata de resolver, y para ello se ha considerado generar una salida en lenguaje natural.

De modo que se ha experimentado con una nueva ampliación, integrando en el sistema un proceso de registro (entrada) - depuración (análisis) - generación de explicación (salida), de esta forma:

- Se realiza un registro descentralizado de los eventos de la vida de cada agente (su historia desde que nació, sus primeros amigos, su pareja, sus hijos, su muerte). Para aumentar el número de eventos registrados, y por consiguiente la complejidad del sistema, se incluyen eventos aleatorios en la vida de los agentes, (en un principio sin contenido semántico) para probar el potencial de esta ampliación.
- Se genera un fichero XML con la traza de todos los agentes en la simulación.
- Un módulo externo carga ese fichero XML, lo analiza y genera una explicación en lenguaje natural, construida a partir de la información considerada más relevante. La “relevancia” se calcula en base a unas reglas contextuales. Se dan más detalles sobre este módulo en el punto 7.3.

## 7.2 Una Aplicación Inmediata: Depuración

Desde el punto de vista pragmático del desarrollador, la depuración de los SMA es una tarea complicada. Su radical descentralización impide un seguimiento unificado de la evolución de sus variables, normalmente mucho más sencillo en el caso de sistemas centralizados. Por si fuera poco, normalmente se ejecutan sobre múltiples hilos de ejecución, complicando más aún la depuración. Los SMA suelen proporcionar una salida confusa y difícil de seguir, como la proporcionada por la potente librería log4j [53] [63]. Sería conveniente encontrar una solución a este problema sin que sea necesario re-estructurar el sistema para hacerla posible.

Además, es problemático conocer la traza del ciclo de vida de cada agente, dificultando más aún el encontrar errores en el diseño. Esto es de especial importancia para comprobar que la implementación es correcta y que se sigue fielmente lo establecido en el modelo (por ejemplo, que se cumpla la restricción de que los niños no puedan casarse). Conocer las trazas de los agentes permitiría, además, corroborar con estudios estadísticos que se siguen las medias y variaciones poblacionales.

Es evidente que este problema queda inmediatamente solucionado aplicando el procedimiento descrito de registro de trazas y análisis posterior. En esta aplicación, las reglas contextuales citadas (las del módulo externo de análisis y generación) serían diseñadas para buscar inconsistencias semánticas en el XML bajo estudio. Al encontrarlas, se podría informar en lenguaje natural sobre las reglas incumplidas o sobre las incoherencias entre dos fragmentos distintos del XML (por ejemplo, un individuo casado con un individuo ya muerto). Es más, se pueden utilizar los eventos aleatorios introducidos como si fueran información relevante sobre el procesamiento sintáctico (por ejemplo, con sentencias del tipo “ATTRIBUTE RANGES: OK” o “SYNTAX ERROR FOUND IN AGENT I47”) que pudieran ser tratadas con reglas adicionales. O, con cambios en la programación, se podría hacer que esas sentencias correspondieran al comportamiento real del sistema, eliminando la aleatoriedad de los eventos y lanzándolos bajo el chequeo pertinente.

### 7.3 Perspectiva Micro y Cambio de Dominio: Generación de Historias Fantásticas

Aparte de la aplicación para depuración descrita, existe otra aplicación de esta técnica mucho más interesante para nuestro contexto: proporcionar información a nivel micro del sistema en forma de biografías de individuos seleccionados con algún criterio concreto (determinado por las reglas contextuales). Para experimentar esta interesante línea de investigación se eligió una divertida aplicación: contar cuentos fantásticos generados automáticamente. Si se cambia el contexto del sistema a un dominio de fantasía medieval, modificando ciertos parámetros y haciendo mínimos cambios, y a su vez se adapta la herramienta externa de generación de lenguaje con una planificación del discurso adecuada, el resultado es, cuanto menos, sorprendente. Se obtiene un conjunto de personajes de razas distintas ambientados en un mundo de fantasía (elfos, orcos...), que van conociendo a otros personajes, relacionándose con ellos (Gimli el enano se hace amigo de Legolas el elfo), con sorprendentes eventos en sus vidas (Bilbo encuentra el Anillo Único, Galadriel se pierde en un bosque, Bardo mata a un dragón), pudiendo combatir entre ellos o casarse y tener un largo linaje.

Así, el SMA simula las vidas de dichos personajes y sus interacciones, con influencias mutuas constantes. Desde esta perspectiva, la vida de cada individuo cobra mucha mayor importancia, pues no es la tendencia global del comportamiento emergente la que se estudia, sino el interés de las vidas de los personajes. Ya no muere un agente etiquetado con un número, sino un individuo con nombre y apellidos, con una historia emocionante que ha vivido. Cada uno es *único e irrepetible*, y por lo tanto muy importante. Esto coincide con la perspectiva de la **sociología microscópica y cualitativa** [14], en contraposición a la perspectiva macroscópica y sociología cuantitativa que se viene siguiendo hasta ahora (que daba importancia a las variables o atributos y no a los individuos como un todo).

Desde esta perspectiva ontológica, lo más natural es que la herramienta externa de generación de lenguaje tome a cada individuo como un ente particular, y analice al conjunto de agentes buscando, no las tendencias generales de sus variables, sino el “interés” (en función de unos parámetros o pesos determinados subjetivamente) de la “historia vital” de cada personaje, y evidentemente su relación con otros personajes (¿De quién se enamoró? ¿Quién fue su más fiel amigo? ¿Quién le traicionó antes de

morir? ¿Cuántos hijos e hijas tuvo? ¿Alguien vengó su muerte?). También se puede analizar, desde la óptica medieval, el linaje de una persona, atendiendo a su árbol genealógico y a las “hazañas” de sus familiares.

Los cambios que han hecho posible este cambio radical de objetivos y perspectiva no han forzado una profunda re-estructuración del código, como se podría esperar. Gracias al diseño modular del sistema, los siguientes puntos han sido posibles y de forma sencilla:

- *Mayor personificación de los agentes*: aunque ya estaban unívocamente nombrados por un ID impersonal, ahora se les otorga nombre y apellido (o “casa” a la que pertenecen). Es más, el apellido se hace hereditario, para que existan linajes. Este ligero cambio fuerza un replanteamiento de la situación: ya no mueren números (por lo que lo importante era si “crecía” o “disminuía” la población, desde la perspectiva global demográfica), ahora mueren personas (con un nombre, y que dejan hijos que conservan su recuerdo en forma de apellido).
- *Adaptación de los agentes al contexto*: se le incluye el atributo Raza a cada agente, pudiendo ser humano, elfo, orco, halfling, o enano. Las muertes ahora tienen una razón de ser (de una simple “death”, donde lo importante es que el agente desaparece, se pasa a “mysterious accident”, “poisoned by his wife”, “betrayed by friend X”... hechos trascendentes en una historia).
- *Adaptación de los eventos*: se generan muchos más eventos aleatorios, dividiéndolos en múltiples tipos (“spell”, “find”, “fight”...). Así, un personaje podrá sufrir distintos hechizos (bola de fuego, pérdida de memoria, cambio de sexo), vencer horribles monstruos (dragones, ogros), perderse en laberintos y bosques, encontrar tesoros y distintos objetos mágicos en peligrosas mazmorras, etc.
- *Nueva semántica*: aunque se conservan los atributos del sistema, no se conserva el mismo punto de vista. Así, la clase baja en 1980 es completamente distinta a la clase baja en la edad media (un campesino sin tierras propias). También se deciden realizar algunos pequeños cambios para conservar la lógica del nuevo dominio. Así, por ejemplo, la probabilidad de “amistad” (o de tener como pareja) entre elfos y orcos es mucho menor que entre elfos y humanos, o ésta a su vez menor que entre elfos.
- *Ajuste de parámetros*: Debido a que el contexto anterior era la España post-moderna, ahora numerosos parámetros deben de ser adaptados. La cuenta de los

años no se hace desde 1980, sino desde el 500. Se ajustan otros parámetros, como un mayor número de hijos o muertes más prematuras.

Así, ahora se realiza el mismo registro descentralizado de los eventos de cada agente, en realidad los “hitos” de su vida. De igual forma que en la depuración, al terminar la simulación se guardan todos los registros en un XML global, que pasará a ser importado por la herramienta de análisis y generación de lenguaje natural. En la Figura 7 puede observarse un fragmento de un XML de salida. En la Figura 6, puede observarse el resultado del prototipo de la herramienta externa.

*The Great Story - A fantasy Middle-Age world:*

Badash Taltaur the Elf was born in 504. Badash Taltaur met Amdor Taltaur, and she was lost in a forest, then she was enchanted with the incredible spell of memory, then she found a Magic Ring.

Badash Taltaur was lost in a labyrinth, then she met Werlom Mcknight, and Werlom Mcknight was offspring of Rirbag Greatgibber, and Badash Taltaur was involved in a great battle, then she was enchanted with the incredible spell of frog.

Badash Taltaur fell in love, desperately, with Werlom Mcknight, then she was lost in a forest, then she found a Treasure, then she married Werlom Mcknight, then she had a child: Idrin Taltaur.

Badash Taltaur had a child: Dora Taltaur, then she had a child: Dwalin Taltaur, then she had a child: Pimmam Taltaur, then she had a child: Baradadan Taltaur, then she found a Magic Sword.

Badash Taltaur found a Magic Ring, then she was lost in a forest, then she was involved in a great battle, then she was enchanted with the incredible spell of sex, then she was lost in a forest.

Badash Taltaur found a Treasure.

Badash Taltaur died in a mysterious accident in 555.

The end.

**Figura 6: un ejemplo de salida de la herramienta de generación de texto**

## **7.4 Estructura del Módulo Narrativo**

Este módulo externo de procesamiento de lenguaje natural (NLP) es un narrador automático diseñado utilizando las clásicas técnicas del área [65].

El módulo de generación de lenguaje natural (NLP) ha sido diseñado siguiendo el simple y típico enfoque basado en reglas. Está profundamente orientado a la Determinación del Contenido (filtrado de hechos, indicando cuáles de esos hechos considerados son realmente interesantes para el lector) y a la Planificación del Discurso (ordenando los hechos filtrados de forma que el lector pueda percibir una historia coherente). Además, se ha realizado una Realización Superficial basada en plantillas para crear el texto final, para mostrar una salida legible para humanos del contenido final.

Para realizar la Determinación del Contexto, la herramienta NLP toma cada individuo como un todo, y analiza en conjunto de agentes dependiendo de las reglas que tenga configuradas. Dichas reglas, claramente dependientes del contexto, deben ser definidas para elegir correctamente al individuo (o individuos) representativo(s). Deben medir el interés (peso) de los diferentes eventos vitales de los agentes, y sus relaciones con otros. Así, sólo el individuo más representativo será seleccionado (el agente más cercano al tipo ideal cualitativo) de un conjunto de numerosos agentes posibles.

Este filtro es aplicado calculando un valor numérico de cada agente basado en sus eventos vitales. Este valor, llamado *interés*, está basado en una tabla de búsqueda que asigna un valor heurístico a cada hecho. Cada uno de estos valores representa la importancia de cada hecho. A continuación los agentes reciben un valor de *interés* correspondiente a la suma de *intereses* de sus hechos.

Así, aplicamos un conjunto de reglas filtrando aquellos agentes cuyo interés no rebasa cierto límite impuesto, y eliminando los hechos redundantes o relaciones entre agentes.

La Planificación del Discurso es llevada a cabo con el uso de plantillas que proporcionan un orden lógico y coherente al texto que ha sido filtrado en la etapa anterior de Determinación del Contexto. Las plantillas tienen simples secuencias como la ordenación temporal de los hechos y la determinación de las relaciones más importantes.

```

<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<Story Id="fantasy">
  <Description>
    A fantasy Middleee-Age world
  </Description>
  ...
  ...
  ...
<Log Id="i212">
  <Description>
  </Description>
  <Attribute Id="name" Value="badash"/>
  <Attribute Id="last_name" Value="taltaur"/>
  <Attribute Id="race" Value="elf"/>
  <Attribute Id="sex" Value="female"/>
  <Attribute Id="age_end" Value="51"/>
  <Attribute Id="age_state_end" Value="adult"/>
  <Attribute Id="ideology" Value="right"/>
  <Attribute Id="education" Value="very low"/>
  <Attribute Id="economy" Value="very high"/>
  <Attribute Id="religion" Value="very religious"/>
  <Events>
    <Event Id="e1" Time="504" Action="birth" Param=""/>
    <Event Id="e2" Time="504" Action="friend" Param="i147"/>
    <Event Id="e3" Time="505" Action="lost" Param="forest"/>
    <Event Id="e4" Time="508" Action="spelled" Param="memory"/>
    <Event Id="e5" Time="509" Action="dungeon" Param="the one ring"/>
    <Event Id="e6" Time="510" Action="lost" Param="labyrinth"/>
    <Event Id="e7" Time="511" Action="friend" Param="i229"/>
    <Event Id="e8" Time="512" Action="involved" Param="battle"/>
    <Event Id="e9" Time="515" Action="spelled" Param="frog"/>
    <Event Id="e10" Time="515" Action="impossible love" Param="i229"/>
    <Event Id="e11" Time="517" Action="lost" Param="forest"/>
    <Event Id="e12" Time="519" Action="dungeon" Param="treasure"/>
    <Event Id="e13" Time="520" Action="grow" Param="adult"/>
    <Event Id="e14" Time="526" Action="couple" Param="i229"/>
    <Event Id="e15" Time="526" Action="child" Param="i258"/>
    <Event Id="e16" Time="529" Action="dungeon" Param="magic sword"/>
    <Event Id="e17" Time="536" Action="lost" Param="forest"/>
    <Event Id="e18" Time="536" Action="involved" Param="battle"/>
    <Event Id="e19" Time="538" Action="spelled" Param="sex"/>
    <Event Id="e20" Time="543" Action="lost" Param="forest"/>
    <Event Id="e21" Time="550" Action="dungeon" Param="treasure"/>
    <Event Id="e22" Time="555" Action="mysterious accident" Param=""/>
  </Events>
</Log>

```

**Figura 7: un fragmento del XML de salida**

En cuanto al texto final, los resultados son relativamente pobres debido a la dificultad de la determinación del “interés”, junto con que la fase de generación de texto utilizaba un algoritmo demasiado simplificado. Quedaría pendiente mejorar las reglas que hacen posible una correcta planificación del discurso, y conectarlo a un módulo de generación de texto más sofisticado.

Podría profundizarse mucho más sobre la construcción de la traza, la estructura del XML, los eventos pseudo-aleatorios, las herramientas externas utilizadas para la

definición de las reglas, discusión sobre las distintas fórmulas para calcular el “interés”, y en general sobre el módulo externo de análisis y generación de lenguaje. Sin embargo, para entrar a fondo en cualquiera de esos temas, se debe acudir al punto A.4: Artículo D.

## **7.5 Validación en Historias Fantásticas**

Al contrario que con los resultados macro-sociológicos (que eran validados comparando las gráficas con los valores agregados extraídos de conocimiento empírico: las encuestas), los resultados micro y cualitativos como los que proporciona esta ampliación son muy difíciles de validar. Esto es un problema grave si consideramos el gran número de parámetros que maneja el modelo: a la hora de modelar la España post-moderna, tenemos multitud de parámetros que podemos fijar. El resto los fijaremos en función de cómo se acerquen a los resultados esperados.

Pero en el caso de un reino de fantasía, la mayor parte de los parámetros están indefinidos, por lo que el esfuerzo comparativo debe ser mucho mayor. En particular, si el objetivo es crear historias “interesantes” y “creativas”, el mundo generado debe proporcionar un entorno donde éstas se desarrollen de forma óptima. Por lo tanto, el interés de las historias generadas ya no dependería sólo de las reglas contextuales elegidas, sino de que éstas se den en una “tierra fértil” determinada por los parámetros del sistema.

Así, se ha realizado un pormenorizado estudio de los parámetros del sistema, extrayendo estadísticas y medias de múltiples ejecuciones. Se han aislado los parámetros más relevantes, y las características que deben ser maximizadas para obtener mayor “creatividad” en la salida. No se entrará en detalle, ya que todo el análisis está ampliamente explicado en el punto A.5: Artículo E. Sin embargo, se proporcionan las gráficas principales de los análisis efectuados. Las cuatro configuraciones de parámetros principales son Without/2, Without/5, With/2 y With/5.

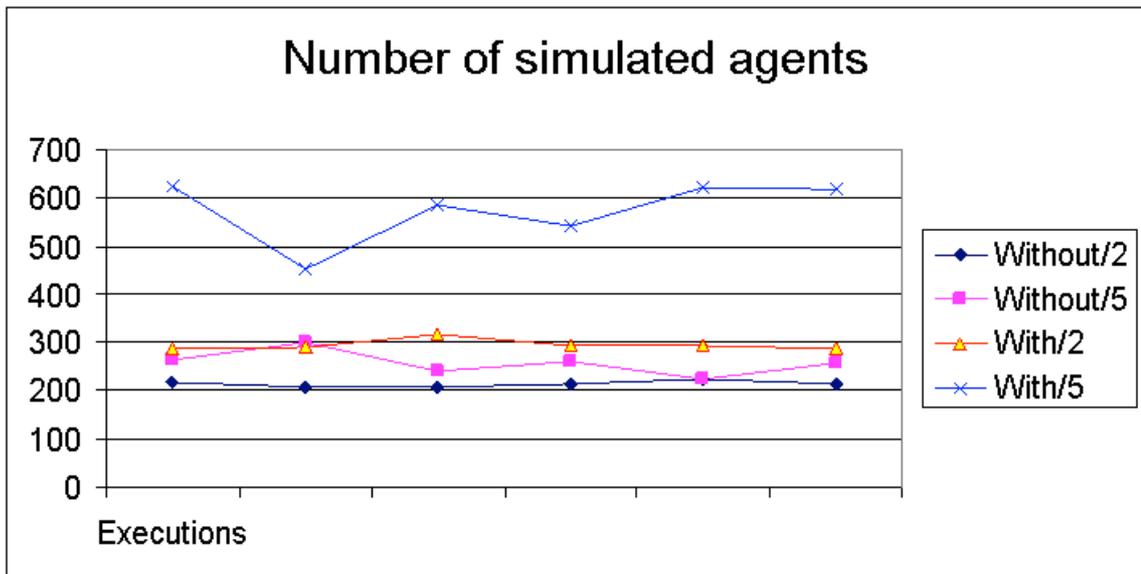


Figura 8: Comparación entre configuraciones, atendiendo al número de agentes simulados

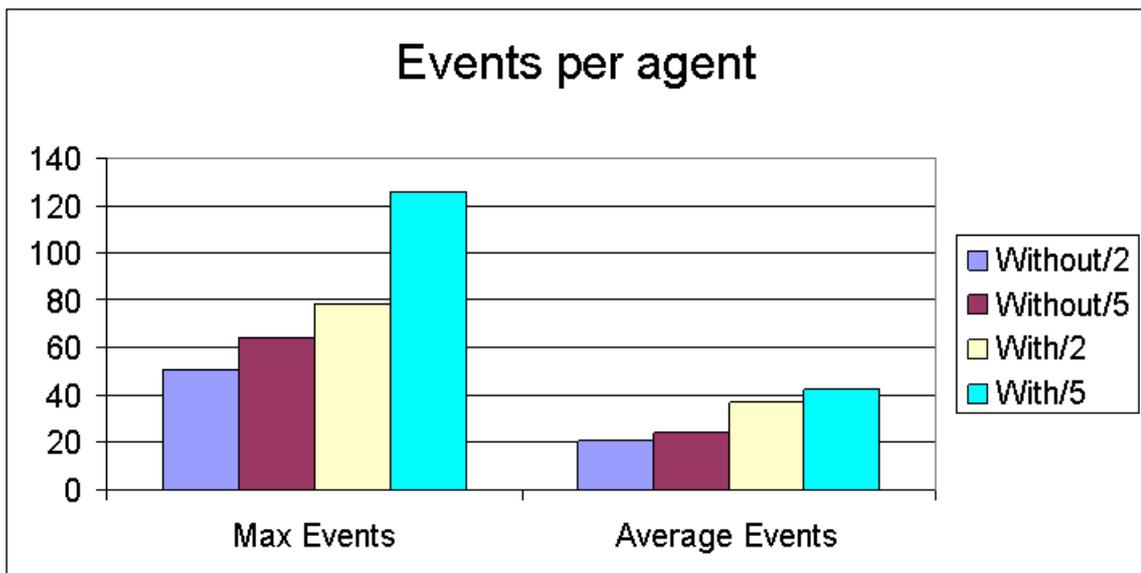


Figura 9: Comparación entre configuraciones, atendiendo al número de eventos por agente

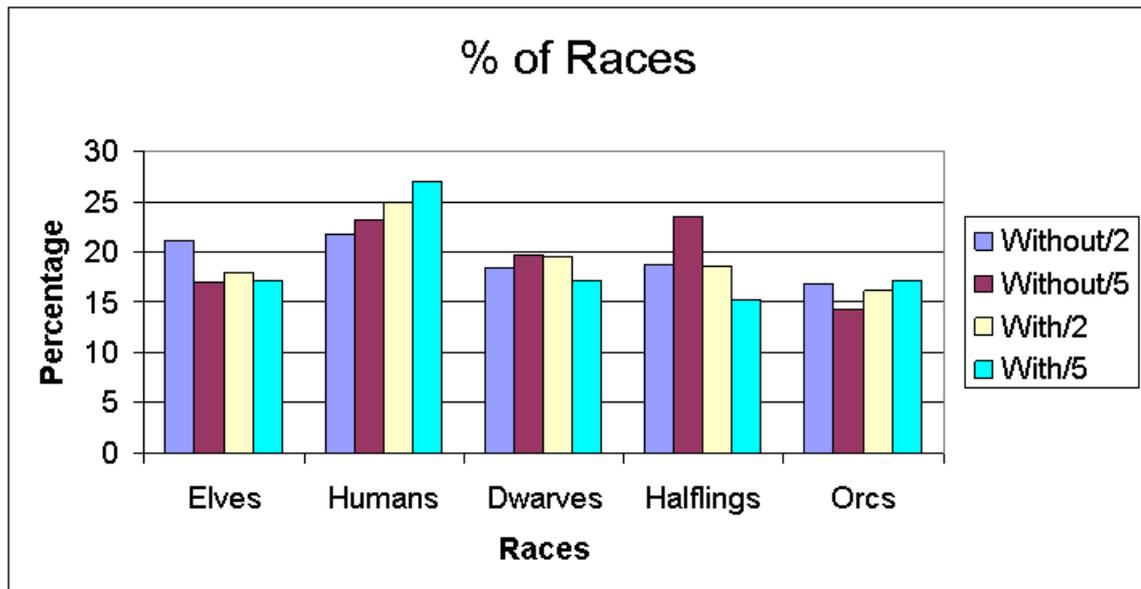


Figura 10: Porcentaje de las razas dependiendo de la configuración

## 7.6 Perspectiva Micro en Dominio del Problema Estudiado: Sociología Cualitativa

Los sociólogos utilizan distintos métodos de investigación para estudiar las sociedades humanas. En general, los métodos sociológicos pueden dividirse en dos grandes ramas, aunque ambas implican interacción sistemática entre teorías y datos [7]. Los métodos Cuantitativos, basados en las ciencias naturales y el positivismo, se preocupan de cuantificar los fenómenos sociales y recolectar y analizar datos numéricos, centrándose en las relaciones entre un reducido número de variables sobre numerosos casos. Para los cuantitativos, el mundo social es algo que se encuentra “ahí fuera”, externo a los científicos sociales, y esperando a ser investigado (visión objetiva de la realidad). Los métodos cualitativos, por otro lado, se basan en la comprensión, que enfatiza las experiencias personales y la interpretación (subjetivismo) sobre la cuantificación. Se preocupa de entender el significado del fenómeno social, centrándose en las relaciones entre un gran número de atributos sobre relativamente pocos casos. Los cualitativos consideran que el mundo social es construido por nuestras interacciones y por tanto cualquier intervención del investigador afectará a la realidad social.

Sin embargo, está cada vez más reconocida que estas profundas diferencias no deberían ser exageradas, y que ambos enfoques pueden y deben ser complementarios [14]. Los métodos cuantitativos son útiles para describir fenómenos sociales, especialmente desde una gran escala. Los cualitativos permiten a los científicos sociales construir explicaciones (y descripciones) muy ricas, normalmente a una escala reducida. Utilizando dos o más enfoques los investigadores pueden ser capaces de “triangular” sus hallazgos, y proporcionar una representación más válida del mundo social [39]. De hecho, podemos ver cada vez a más sociólogos “de un lado” usar herramientas “del otro lado” de forma auxiliar.

Ya existen diversos trabajos que muestran cómo la simulación social puede ser una herramienta muy práctica para las investigaciones cuantitativas [46].

Las investigaciones cualitativas han sido usadas en este campo sólo de forma auxiliar, trabajando con la perspectiva cuantitativa y permitiendo a ésta guiar el análisis y los resultados, como puede observarse en [73]. Por otro lado, en este punto se propone, aunque el uso de ordenadores esté íntimamente relacionado con los cuantitativos, el uso de los resultados de la simulación social basada en agentes (ABSS) para los cualitativos, al menos de forma auxiliar. El enfoque es extraer de la ABSS no sólo datos cuantitativos sino también proporcionar conocimiento de tipo cualitativo. Como se ha realizado con las historias fantásticas, ahora se seguiría el mismo proceso: registrando las “historias” de los agentes, es posible extraer conocimiento sobre su evolución particular, elegir el agente más interesante para nuestros objetivos, y construir su historia personal de forma narrativa, que proporcionará las motivaciones de sus hechos a lo largo del tiempo.

Retornando a la problemática del estudio de la evolución de valores en la España post-moderna, y con todas estas ideas, ahora ya no se trataría de buscar el “interés” o la “creatividad” de las historias a contar, sino de buscar los “tipos ideales” de la sociología cualitativa (una especie de generalización del individuo(s) medio(s) que representa(n) la evolución global del sistema). Simplemente habría que modificar las reglas contextuales y construir un conjunto de eventos que se adapten a este problema. Además, se reduce drásticamente la aleatoriedad total de los eventos (pues deja de tener sentido: las historias no tendrían conexión interna ni lógica alguna. En un entorno fantástico no importa, pero en este caso sí), definiendo unas causas y consecuencias de cada evento vital (por ejemplo, si una mujer es muy religiosa, hay pocas probabilidades de que aborte). Un ejemplo de tipo ideal resultante estaría representado en la Figura 11.

Para aplicar las reglas del dominio anterior a éste ha sido necesario adaptarlas a este contexto. Para llevar a cabo esta tarea se ha construido un vocabulario con la ayuda del sociólogo experto en este campo. De esta forma hemos definido los posibles eventos y el árbol de rutas lógicas que definen los posibles eventos que cada agente puede seguir en cada paso temporal, basado en su propia historia pasada (por ejemplo, una mujer muy religiosa tendrá escasa probabilidad de decidir abortar). Una explicación más a fondo de este tema puede encontrarse en el punto A.7: Artículo G.

Dado el potencial de esta perspectiva “micro”, se ha planteado continuar por esta línea de investigación, pero esta vez sí modificando ampliamente el SMA, como se verá en el próximo punto.

Rosa Pérez was born in 1955, and she met Luis Martínez, and she met Miguel López, and she met María Valdés, and she suffered a horrible childhood, and she had a very good friend: María Valdés, and she believe in God, and she went to church every week, and she met David García, and she wanted to be a priest, and she suffered an incredible accident, and she met Marta Alonso.

When she was a teenager, she messed with a gang, and she met Claudia Sánchez, and she went to confession every week, and she had problems with drugs, and she became an adult, and she met Marci Boyle, and she was involved in a labour union, and she met Carla González, and she got arrested, and she learned how to play the guitar, and she became a hippy, and she was involved in a NGO.

She met Sara Hernández, and she stopped going to church, and she met Marcos Torres, and she fell in love, desperately, with Marcos Torres, but in the end she went out with Miguel López, and she lived together with no wedding with Miguel López, and she had a child: Melvin López.

She had a child: Andrea López, and she met Sergio Ruiz, and she separated from Miguel López, and she went out with Sergio Ruiz, and she lived together with no wedding with Sergio Ruiz.

She had a abortion, and she bought a house, and she had a depression, and she had a crisis of values, and she was involved in a NGO, and she had a huge debt, and she inherited a great fortune, and she met Daniel Lorenzo, and she bought a car, and she was unfaithful to Sergio Ruiz with another man, and she was fired from her job.

Nowadays she is an atheist.

**Figura 11: La biografía de un individuo representativo**

## 7.7 Perspectiva Micro Compleja: Enfoque BDI

Los resultados del anterior punto han enriquecido el potencial del sistema, observándolo desde una nueva perspectiva (cualitativa y micro), cuando ni siquiera ha sido necesario realizar grandes cambios en el SMA: se ha mantenido una estructura idéntica, con unos agentes simples, un comportamiento análogo y una evolución equivalente a cuando realizábamos el estudio macro.

Sin embargo, se plantea que si se introducen nuevos cambios en el sistema, como hacer más sofisticados los agentes (insistiendo en la micro-perspectiva), y a su vez se consigue no perder escalabilidad (que permite el comportamiento emergente y el estudio macro), los resultados podrían enriquecerse notablemente.

Se volverá al dominio fantástico, tomándose como sistema base el del anterior punto 7.3, debido a la alta complejidad de utilizar conocimiento real y objetivos reales en las vidas de los agentes de la España post-moderna (es mucho más sencillo realizar experimentación con objetivos inventados de los personajes simples fantásticos). Pero ahora sí que se permite hacer profundos cambios en los agentes. Se ha optado por utilizar el modelo BDI (Believes, Desires, Intentions) [9], importado desde la psicología y ampliamente utilizado en el área de la simulación basada en agentes. En este modelo:

- Las *Creencias* representan el conocimiento del agente sobre el mundo, incluyendo su estado actual y el estado de su entorno. Usar el término “creencias” implica que lo que el agente “cree” no tiene que ser necesariamente verdad (y de hecho puede cambiar en el tiempo). “Lo que creo/sé”: sé dónde está el tesoro.
- Los *Deseos* (objetivos) representan el estado que el agente está tratando de ejecutar, las situaciones que está buscando que se den. “Lo que quiero”: quiero el tesoro.
- Las *Intenciones* (planes) son los medios que el agente elige para alcanzar sus objetivos, lo que el agente ha elegido hacer. “Lo que voy a hacer”: voy a ir a la montaña a por el tesoro.

De tener agentes simples se pasa a tener agentes complejos con “estado mental”: un conocimiento específico, unos deseos para satisfacer, con acciones que realizar. En el marco de trabajo del sistema implementado, los agentes podrían tener conocimiento

sobre distintas cosas, y desear otras distintas. Ahora cada agente tiene algunos deseos/objetivos (por ejemplo “find a magic sword” o “free the dwarven slaves”), que determinarán sus acciones. A lo largo de sus vidas, querrán cumplir todos sus objetivos (los iniciales y los que vayan surgiendo). En principio, querrán informarse sobre lo que les preocupa, preguntando sobre el tema a sus amigos y familiares. A veces será sencillo satisfacer sus deseos, y otras imposible (porque nadie de su entorno tenga la información crítica que necesita, por ejemplo). Cada deseo tiene asociados unas creencias (el conocimiento necesario para cumplir el objetivo) y unas intenciones (la secuencia de acciones que se necesitan realizar para alcanzar el objetivo). Cuando un agente obtiene todo el conocimiento que necesita para resolver un deseo, podrá realizar las acciones correspondientes y se desencadenarán las intenciones de forma ordenada. Los agentes “ejecutan acciones” con los eventos, que antes eran aleatorios, pero ahora estarían controlados por la “inteligencia” del propio agente. Así, por ejemplo, si un personaje quiere (un deseo) matar a un dragón, preguntará a sus amigos si saben dónde hay uno (si tienen esa creencia), cuáles son sus puntos débiles, o cómo suelen atacar. En cuanto encuentre información suficiente (tendrá esas creencias) y generará las intenciones “Viajar al Este”, “Ir a la Montaña Solitaria”, “Entrar en la cueva”, “Luchar con el dragón”, “Matar el dragón”. En cuanto vaya generando esos eventos/acciones en orden (desapareciendo de sus intenciones), su deseo se verá satisfecho y desaparecerá también. Esto sí tiene sentido como historia, sobre todo cuando está entrecruzado con otros objetivos que tiene el mismo agente, y con los objetivos del resto de agentes, a los que puede ayudar.

Indefectiblemente el ejemplo anterior nos lleva a que se requiere algún tipo de comunicación entre agentes. Sea por medio de llamadas estándar, o sea por medios más sofisticados como diálogos o KQML, los agentes tienen que comunicarse, enviarse información, peticiones, preguntas y respuestas, y hasta negociar, cooperar o competir. Así, si tú quieres el Anillo Único y sabes dónde está, y alguien te pregunta si lo sabes, quizá quieras mentirle para que él no vaya también a por él. O si uno quiere derrotar a un dragón y otro quiere saber dónde está el Anillo, pueden acordar ayudarse mutuamente intercambio la información que le falta al otro, o incluso ayudarse en sus gestas.

Si se quisieran poder comprender a posteriori las conversaciones establecidas por los agentes, se podría añadir complejidad al XML de salida y a la herramienta externa

que lo trata, para que pudiera generar los diálogos en lenguaje natural. Así, se “contaría” la historia del personaje principal, pero se podría solicitar interactivamente más información. Por ejemplo, si la historia relata que el personaje *A* encontró ayuda de *B* para derrotar al dragón, se podría “hacer zoom” sobre esa frase y que el sistema extrajera del XML la forma en que convenció a *B* (quizá dialogaron para ver qué intereses tenía cada uno, y *A* le ofreció una creencia que *B* valorara lo suficiente como para ayudarle en su gesta).

Otras formas de añadir complejidad al sistema pasan por:

- Añadir nueva relación “enemistad”, muy sencillo
- Reducir el número de agentes y de amigos por agente, simplemente cambiando parámetros
- Añadir una profesión a cada agente, que determine parcialmente su comportamiento e intereses
- Añadir atributos más propios del contexto de RPG: fuerza, inteligencia...
- Añadir complejidad a los eventos, para que influyan en los atributos de los personajes: si encuentras una espada mágica, tienes más fuerza.
- Incluso podría añadirse un inventario a cada personaje, con los objetos que tiene o ha ido consiguiendo. Es más, se podría otorgar cierta cantidad de dinero, y establecer negociaciones económicas entre los agentes. Pero todo esto, lamentablemente, se intuye afectaría demasiado a la eficiencia, reduciendo la escalabilidad del SMA (requisito imprescindible para retornar a la visión macroscópica, como ya se ha explicado).

Se ha enviado un nuevo artículo sobre este trabajo realizado al congreso CAEPIA 2007, no incluido aquí por estar todavía en proceso de revisión.

## **Capítulo 8. Conclusiones y Trabajo Futuro**

### **8.1 Conclusiones**

A lo largo de este trabajo se ha expuesto un sistema de simulación social basado en agentes (ABSS) que, desde una perspectiva multidisciplinar, persigue integrar técnicas de ingeniería del software junto con diversas técnicas de inteligencia artificial (agentes software, lógica borrosa, generación de lenguaje natural) y aplicándolo a un problema complejo del ámbito de las ciencias sociales. Este modelo ha sido definido con ayuda de un experto sociólogo, y se ha aplicado de forma incremental al prototipo implementado (un sistema multi-agente o SMA). La validación de éste se ha realizado comprobando la similitud entre los resultados obtenidos y los datos extraídos de fuentes reales. Ya se ha discutido sobre las causas de la similitud y diferencias en esta comparación en el Capítulo 5. .

Como ya se ha comentado en el Capítulo 2. , actualmente no se conocen trabajos que aborden un problema de este nivel de complejidad. Esto puede ser debido a una conjunción de varias causas: la breve historia de la ABSS, incipiente en comparación con otras técnicas; la evidente tendencia entre los ingenieros a resolver problemas prácticos e inmediatos (ejemplos del tráfico o del aeropuerto frente a los abstractos problemas sociológicos), aplicaciones necesarias pero que, para reducir la complejidad, restringen enormemente el contexto; la gran dificultad que suponen los proyectos multidisciplinarios, debido a que ni los sociólogos saben programar (ni por tanto poseen la perspectiva que ello proporciona) ni los informáticos conocen los problemas y necesidades de las ciencias sociales (ni por tanto pueden tratar de resolverlas).

El desarrollar el modelo teórico requirió un gran esfuerzo inicial, debido a las diferencias entre la visión del sociólogo colaborador y la del alumno y su director de tesis, ambos ingenieros informáticos. En este punto fueron muy útiles los conocimientos de ciencias sociales del alumno (por ser estudiante de Ciencias Políticas), ya que facilitaron enormemente la comprensión mutua necesaria en este punto. El especificar inicialmente muy detalladamente el modelo facilitó enormemente la programación.

Una dificultad recurrente ha sido el gran número de parámetros, consecuencia directa de la complejidad del problema tratado. Aunque era esperable tal cantidad, dicho número dificultó la obtención de resultados prácticos en un principio, a pesar de estar bien construido el prototipo, hasta que se afinaron con los valores correctos (a base de

numerosas pruebas). El poseer información abundante sobre la sociedad española simplificó la tarea, al poder fijar parámetros a priori (número medio de hijos por pareja, por ejemplo).

Las ventajas de utilizar lógica borrosa son discutidas en el capítulo correspondiente. Sin embargo, en el caso particular de la aplicación del cierre T-transitivo, existen dos problemas: la realización de una tarea centralizada (que contradice el espíritu de la arquitectura basada en agentes, típicamente distribuida) y la caída de la eficiencia (al manejar productos de matrices muy grandes muy a menudo). De todas formas, dejando el cierre a un lado, las ventajas de la lógica borrosa son enormes, y mucho más en el campo de las ciencias sociales. Esto se comprobará en el siguiente punto, y por ello se pretende continuar en esta línea de investigación.

La generación de lenguaje natural en sus diversas formas ha sido ampliamente discutida en los distintos puntos del Capítulo 7. . La desventaja principal se puede reducir a que de momento el texto generado es pobre, con una calidad insuficiente para su uso práctico. Se espera que una evolución del módulo externo utilizado permita ampliar los horizontes de esta técnica.

## **8.2 Trabajo Futuro: Propuesta para Tesis Doctoral**

Debido a que actualmente sólo se ha desarrollado un prototipo, pero se han desplegado múltiples líneas de evolución futura por donde continuar desarrollando, este proyecto constituirá el embrión de la tesis doctoral del alumno. Esta tesis será dirigida por el mismo director y abordará múltiples líneas de las que aquí se proponen.

Aunque el prototipo está muy desarrollado, no se han implementado todos los aspectos del modelo teórico, que alcanza una complejidad mucho mayor que la de aquel. Por tanto, se deberá continuar ampliando el sistema con la inclusión de todos los aspectos definidos en el prototipo, incluyendo particularidades altamente complejas, como la inclusión de factores externos (medios de comunicación, o el Estado), o la interrelación de distintos grupos en distintos espacios.

Otros aspectos que mejorarían la simulación, otorgándole mayor rigor sociológico, serían, en primer lugar, mejorar el cambio generacional, para que sea posible la simulación más a largo plazo (actualmente no tiene sentido simular más allá de los 20 años). En segundo lugar, se deberían generar una población más realista, con niños al comienzo de la simulación, ya que los niños no hacen encuestas y por tanto no se ven

representados inicialmente. Esta incongruencia no interfiere apenas en los resultados, ya que pocos de esos niños llegarían a la edad de reproducción en sólo 20 años.

Se ha experimentado mucho con la posibilidad de incluir una ontología en el sistema. Incluso se ha llegado a desarrollar una con Protègè [21] [35] en la que se incluían distintos patrones sociales, las relaciones familiares, los atributos de cada individuo... Para incluirlo en el modelo se ha utilizado la herramienta Ontobridge [30], núcleo del proyecto JColibrí [31]. La idea era realizar la operación de similitud utilizando dicha ontología. Sin embargo, dada la ingente cantidad de veces que se repite esa operación entre distintos agentes, y a pesar de haber realizado en el sistema diversas optimizaciones, aun con la mínima ontología el rendimiento es completamente intolerable para cientos de agentes. Se espera que con futuras optimizaciones de Ontobridge el uso de una ontología sea tolerable por el sistema, y permita establecer comunicación entre familiares de segundo orden (permitiendo que primos que están lejos sean amigos, pero que no puedan casarse entre ellos, por ejemplo) junto con otras reglas y restricciones que podría introducir el sociólogo.

Incluso si se pudiera realizar la operación de similitud “ontológica”, se podrían realizar estudios comparativos entre esta operación utilizando ontologías, utilizando lógica borrosa y utilizando técnicas de gratificación (aunque ésta se sabe peor que la borrosa). Es más, se podría tratar de combinar distintas de estas técnicas para obtener una operación de similitud óptima.

Respecto a la lógica borrosa, como ya se ha citado son muchos los puntos donde puede aplicarse (se han comentado algunos en el Capítulo 6. ), tal y como se explica a fondo en el punto A.3: Artículo C. Citamos aquí las posibles modificaciones:

- Borrosificar la relación familia, de forma equivalente a la amistad
- Borrosificar los atributos, para poder realizar inferencia sobre ellos
- Borrosificar influencia local, con una receptividad mayor en función de la juventud, y una influencia mayor en función de si se es “pareja”, “amigo”, “conocido”, “compañero de trabajo”...
- Realizar la herencia de características de los hijos mediante composición borrosa
- El ciclo de vida de los agentes posee estados discretos, pero eso refleja un comportamiento irreal. Borrosificar dichos estados permitiría un cambio de comportamiento gradual, en lugar de brusco al llegar a cierta edad (soft computing).
- Conjugar las etiquetas semánticas de la lógica borrosa con las ontologías, que

encajarían muy bien al venir ambas expresadas en términos de lenguaje natural.

En el caso del procesamiento de lenguaje natural, sólo cabe citar que, al esperarse una mejora del módulo externo utilizado, se obtendrán mejores resultados en el futuro. Se pretende perseguir una mejor calidad a base de mejorar la planificación y la generación del texto final. También se piensa profundizar en la idea del BDI con agentes más complejos, que resulten en unas biografías mucho más elaboradas.

## Referencias bibliográficas

- [1] Alvin, P., & Foley. D. (1992). Decentralized, dispersed exchange without an auctioneer. *Journal of economic behavior and organization*, 18, 27-51
- [2] Arroyo Menéndez, M. (2004) “Hacia una espiritualidad sin Iglesia”. En *Tendencias en identidades, valores y creencias*. J.F. TEZANOS (Ed). Ed. Sistema. Madrid.)
- [3] Arroyo Menéndez, M. (2004) *Cambio Cultural y cambio religioso. Tendencias y formas de religiosidad en la España de fin de siglo*. UCM. Madrid.
- [4] Axelrod R.. *Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences*. En Conte, Rosario., Hegselman, Rainer., and Terna, Pietro. (eds.). *Simulating Social Phenomena*, Berlin: Springer. pp.21-40. 1997
- [5] Axelrod, R. (1987). The evolution of strategies in the iterated Prisoner’s Dilemma. In *Genetic algorithms and simulated annealing*, Lawrence Davis (ed.). London: Pitman; Los Altos, CA: Morgan Kaufman, 32-41.
- [6] Axelrod, R. M. (1997c). The complexity of cooperation: agent-based models of competition and collaboration. In *Princeton studies in complexity*. 1997c, Princeton University Press, Princeton, N.J.
- [7] Babbie, E.: *The Practice of Social Research*, 11th edition, Wadsworth, Thomson Learning Inc. (2007)
- [8] Bertels K., Boman M., *Agent-Based Social Simulation in Markets*. *Electronic Commerce Research archive*, Volume 1 , Issue 1-2 (2001) Special issue on agents in electronic commerce, 149 – 158, (2001)
- [9] Bratman M. E., *Intention, Plans, and Practical Reason*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.
- [10] Burmeister. B, Haddadi A. and Mattilys. G, (1997). Application of multi-agent systems in traffic and transportation. *Software ingeneering IEE Proceedings*. Vol 114. Issue 1, pp 51-60
- [11] Callaway, C. and Lester, J. (2001). Narrative prose generation. In *Proceedings of the Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 1241–1248, Seattle, WA.
- [12] Cohen, M. D., March, J. G., & Olsen, J. (1972). A garbage can theory of organizational

- choice. *Administrative science quarterly*, 17, 1-25.
- [13] Coleman, J.S. 1990 *Foundations of Social Theory*, Cambridge; MA: Harvard University Press commerce. In: *Proceedings of The Workshop on Deception, Fraud and Trust*
- [14] Corbetta, P.: *Social research: theory, methods and techniques*. Sage, London, (2003).
- [15] Dignum F., Morley D., Sonenberg L. and Cavedon L., "Towards socially sophisticated BDI agents," *Proceedings of the Fourth International Conference on MultiAgent Systems July, Boston, USA, pp 111-118 ICMAS 2000*
- [16] Dignum, F. Van Linder, B., *Modelling Social Agents: Communication as Action*, *Lecture Notes in Computer Science*, 1997, Issue 1193, pages 205-218
- [17] Dorigo M. and Stützle T., *Ant colony optimization*, The MIT Press, Julio 2004.
- [18] Downing T. E., Scott Moss, Claudia Pahl-Wostl, *Understanding Climate Policy Using Participatory Agent-Based Social Simulation*, *Lecture Notes In Computer Science*; Vol. 1979, *Proceedings of the Second International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation-Revised and Additional Papers*, 198 – 213, (2000)
- [19] El Hadouaj. S, Drogoul, A. and Espié, S. (2001) "How to Combine Reactivity and Anticipation: The Case of Conflicts Resolution in a Simulated Road Traffic". in: *Multi Agent Based simulation*. Edited by Scott Moss and Paul Davidsson. Berlin.
- [20] Finin, Tim; Labrou, Yannis; Mayfield, James. *KQML as an agent communication language*. Computer Science Department. University of Maryland Baltimore County. Baltimore, USA, 1993.
- [21] Fridman Noy N., Ferguson R.W., Musen M.A.: *The knowledge model of Protégé-2000 : Combining interoperability and flexibility*. Stanford Medical Informatics, Stanford University, *Lecture notes in computer science*, Knowledge engineering and knowledge management. International conference No12, Juan les Pins , FRANCE (02/10/2000) 20001973, pp. 17-32,
- [22] Galán Ordax J.M., López Paredes A., Olmo Martínez R *Simulación de sociedades artificiales de agentes y autómatas celulares en Ingeniería de Organización: aplicación a la gestión del agua*. VIII Congreso de Ingeniería de Organización, Leganés (2004)
- [23] Gaylord, R., L. J. D'Andria (1998). *Simulating Society. A Mathematica Toolkit for Modeling Socioeconomic Behavior*. 1998, Springer-Verlag, New York.
- [24] Ghasem-Aghaee, N. and Ören, T. I. (2003). *Towards Borrosa Agents with Dynamic Personality for Human Behavior Simulation*. *Proceedings of the 2003 Summer Computer Simulation Conference*, Montreal, PQ, Canada, pp. 3—10

- [25] Gilbert, N. & Troitzsch, K.G. (2006). Simulación para las ciencias sociales. Mc Graw Hill. Madrid
- [26] Gilbert, N., J. Doran (1994). Simulating societies: the computer simulation of social phenomena. 1994, UCL Press, London.
- [27] Gómez Sanz J.J., Metodologías para el desarrollo de sistemas multi-agente, Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. No.18 (2003), pp. 51-63.
- [28] Gómez-Sanz, J. J.: Termostatos y Agentes. Actas de conferencia. Simposio Español de Informática Distribuida. 2000. pp. 21- 26
- [29] Hassan Collado, S., Guijarro Mata-García, M., Garmendia Salvador, L.: “Aplicaciones de lógica borrosa a sistemas sociales con agentes software”, Actas del congreso internacional Primer Congreso Internacional de Matemáticas en Ingeniería y Arquitectura, Madrid, (2007) 256—265
- [30] <http://gaia.fdi.ucm.es/grupo/projects/ontobridge/>.
- [31] <http://gaia.fdi.ucm.es/projects/jcolibri/>
- [32] <http://logging.apache.org/log4j/docs/index.html>
- [33] <http://repast.sourceforge.net/>
- [34] <http://www.eclipse.org>
- [35] <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
- [36] Ibáñez, J.: “Del algoritmo al sujeto. Perspectivas de la investigación social”. Madrid. Siglo XXI. (1985) in Agent Societies at The Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS-2004), New York, USA. (2004) 83—91
- [37] Jacas, J., Recasens, J., Fuzzy T-transitive relations: eigenvectors and generators, Fuzzy Sets and Systems 72 (1995) 147–154.
- [38] Janssen, M.A. (Ed.) (2002) Complexity and Ecosystem Management: The Theory and Practice of Multi-Agent Systems, Edward Elgar Publishers, Cheltenham, UK.
- [39] Jick, T.D.: Mixing qualitative and quantitative methods: triangulation in action. Administrative Science Quarterly, 24 (1979) 602-611.
- [40] Kauffman, S., Macready, W. G., & Dickinson, E. (1994). Divide to coordinate: coevolutionary problem solving. Santa Fe Institute Working Paper, 94-06-031 (Kauffman, S., (1995). At home in the universe. Oxford and New York: Oxford University Press. See especially 252-64)
- [41] Kowalczyk R., Bui V., On Borrosa e-Negotiation Agents: Autonomous Negotiation with Incomplete and Imprecise Information, Proceedings of the 11th International

- Workshop on Database and Expert Systems Applications, IEEE Computer Society, p. 1034 (2000).
- [42] León C., Hassan S. and Gervás P.: “From the Event Log of a Social Simulation to Narrative Discourse: Content Planning in Story Generation”, Proceedings of the AISB Annual Convention, Newcastle, UK (2007) 402—409
- [43] López-Paredes, A., Hernández, C., Pajares, J. (2002) Towards a New Experimental Socio-economics. Complex Behaviour in Bargaining. Journal of Socioeconomics. Vol. 31, pp. 423-429
- [44] Lozares, C. (2004) “La simulación social. ¿Una nueva manera de investigar en ciencia social?”. Papers, revista de sociología nº 72. 165-188.
- [45] Lozares, C. La simulación social, ¿una nueva manera de investigar en ciencia social? Papers: revista de sociología, N. 72, p. 165-188, 2004
- [46] Macy, M.W., Willer, R.: From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling, Annual Review of Sociology, Vol. 28 (2002) 143-166.
- [47] March, J. G., (1991). Exploration and exploitation in organizational learning, Organizational science, 2, 71-87.
- [48] Meehan, J. R. (1977). Tale-spin, an interactive program that writes stories. In Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Cambridge, Mass. Morgan Kaufmann.
- [49] Michael W. Macy, Robert Willer, From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling, Annual Review of Sociology, August 2002, Vol. 28, Pages 143-166
- [50] Moss, S.; Downing, T. and Rouchier, J. 2000. “Demonstrating the Role of Stakeholder Participation: An Agent Based Social Simulation Model of Water Demand Policy and Response”. Report 00-76, Centre for Policy Modelling, Manchester Metropolitan University.
- [51] Naessens, H., De Meyer, H., De Baets, B., Algorithms for the Computation of T-Transitive Closures, IEEE Trans Fuzzy Systems 10:4 (2002) 541-551.
- [52] Neville, B., Pitt, J.: A simulation study of social agents in agent mediated e-
- [53] North Michael J., Hood Cynthia S., Davidsson Paul, Logan Brian, Takadama Keiki, Users matter : A multi-agent systems model of high performance computing cluster users, Lecture notes in computer science, Springer Publisher
- [54] Orizo, F. A. Y Elzo, J. (Eds): España entre el localismo y la globalidad. La Encuesta Europea de Valores en su tercera aplicación, 1981-1999. SM, Madrid, 2000

- [55] Parunak, H.V.D., Savit, R. and Riolo, R.L. (1998). Agent-Based Modeling vs. Equation-Based Modeling: A Case Study and Users' Guide. In Sichman, J.S., Conte, R., and Gilbert, N. (Eds.), *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, Springer Verlag.
- [56] Pascual, J. A. (2006). Modelado Multiagente de Mercados Financieros: Un Enfoque Basado en el Comportamiento Individual de los Inversores. In: A. López Paredes and J. Pajares Gutiérrez (Advisors): *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales*. 2006, Universidad de Valladolid.
- [57] Pavon J., Arroyo M., Hassan S., y Sansores C., 'Simulación de sistemas sociales con agentes software', en *Actas del Campus Multidisciplinar en Percepcion e Inteligencia*, CMPI-2006, volumen I, 389–400, (2006).
- [58] Pérez y Pérez, R. and Sharples, M. (2001). Mexica: a computer model of a cognitive account of creative writing. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 13(2).
- [59] Polhill, J.G., Gotts N.M., Law A.N.R. (2001) Imitative Versus Non-Imitative Strategies in a Land Use Simulation. *Cybernetics and Systems* Vol. 32, No 1-2, pp. 285-307.
- [60] Poundstone, W. (1985). *The recursive universe*. Chicago, IL: Contemporary Books
- [61] Poutakidis D., Padgham L., Winikoff M. Debugging multi-agent systems using design artifacts: the case of interaction protocols. *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 2*. p. 960 – 967. (2002)
- [62] Prietula, M., Carley, K., Gasser, L. (Eds) (1998) *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups*. Cambridge, MA: The MIT Press
- [63] Qiao, H.; Jie, H. & Yao, D., An Internet Trading Platform for Testing Auction and Exchange Mechanisms, *International Journal of Intelligent Information Technologies*, Vol. 1, No. 4, p. 20 – 35 (2005)
- [64] Rao, A., Georgeff, M. (1995), "BDI agents from theory to practice", *Proceedings of the 1st International Conference on Multiagent Systems*, AAAI Press, Menlo Park, CA, pp.312-19.
- [65] Reiter, E., Dale, R.: *Building Natural Language Generation Systems*, Cambridge University Press, (2000).
- [66] Riedl, M. and Young, R. M. (2006). Story planning as exploratory creativity. *New Generation Computing - Special Issue on Computational Creativity*, 24(3-4).
- [67] Riolo, R. (1997). The effects of tag-mediated selection of partners in evolving populations playing the iterated Prisoner's Dilemma. Santa Fe Institute Working Paper,

97-02-016

- [68] Schelling (1978). *Micromotives and macrobehavior*. New York: W. W. Norton. (See especially 137-55)
- [69] Schelling, T. (1974). On the ecology of micromotives. In *The corporate society*, Robert Morris (ed.). 19-64 (See especially 43-54).
- [70] Schweizer B., Sklar A. *Probabilistic metric spaces*. North-Holland, Amsterdam, NL, 1983.
- [71] Simon, H. A. (1982). *Models of bounded rationality*. 1982, MIT Press, Cambridge, MA
- [72] Syed, W.U., Borrosa agents bargaining at a farmer's market, *Borrosa Information Processing Society, 2003. NAFIPS 2003. 22nd International Conference of the North American*, p. 450- 455, (2003)
- [73] Taylor, R.I.: *Agent-Based Modelling Incorporating Qualitative and Quantitative Methods: A Case Study Investigating the Impact of E-commerce upon the Value Chain*. Doctoral Thesis, Manchester Metropolitan University, Manchester, UK. (2003).
- [74] Tobias R. and Hofmann C., Evaluation of free Java-libraries for social-scientific agent based simulation, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 10 (2004)
- [75] Trillas, E., Valverde, L., An inquiry into indistinguishability operators, in *Aspects of Vagueness*, H. J. Skala, S. Termini y E. Trillas (Eds.), Reidel Pubs. (1984) 231-256
- [76] Turner, S. R. (1994). *The Creative Process: A Computer Model of Storytelling*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ
- [77] Valverde L. On the structure of F-indistinguishability operators, *Fuzzy Sets and Systems* 17, 313–328, 1985.:
- [78] Ygge & Akkermans, (1995). “Power load management as a computational market”. Book title: *Proceedings of the first international conference on multi-agent systems*. MIT Press. Editor Victor Lesser.
- [79] Zadeh L.A. Similarity relations and fuzzy orderings, *Inform. Sci.* 3, 177–200, 1971
- [80] Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Inform. and Control* 8, 338–353, 1965.

## Glosario de Acrónimos y Abreviaturas

*ABM*: Agent-Based Modelling

*ABSS*: Agent-Based Social Simulation

*BDI*: Believes, Desires, Intentions

*CBR*: Case Based Reasoning

*EEV*: Encuesta Europea de Valores

*EVS*: European Value Survey

*JADE*: Java Agent DEvelopment framework

*JESS*: Java Expert System Shell

*KQML*: Knowledge Query and Manipulation Language

*IA*: Inteligencia Artificial

*INGENIAS*: Metodología de desarrollo de sistema multi-agente que proporciona un conjunto de métodos y herramientas para desarrollar dichos sistemas

*Log4j*: Java-based logging utility

*MAS*: Multi-Agent System

*Max*: Máximo

*Max-T*: Máximo en conjunción con una t-norma T (Max-Prod sería con la t-norma Producto)

*NLP*: Natural Language Processing (Procesamiento de Lenguaje Natural).

*Prob*: Probabilidad

*SIM OPTIM*: Simulación óptima

*SIM PESIM*: Simulación pésima

*SMA*: Sistema Multi-Agente

*T-norma*: norma triangular

*UCM*: Universidad Complutense de Madrid

*UML*: Unified Modelling Language (Lenguaje Unificado de Modelado)

*XML*: Extensible Markup Language

## **Anexo: Artículos Publicados (o Aceptados para su Publicación)**

En el marco de este proyecto de simulación social se han redactado distintos artículos:

- A) **Publicado:** en Julio del 2006, en el marco del congreso internacional del Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia: J. Pavón, M. Arroyo, S. Hassan y C. Sansores: "Simulación de sistemas sociales con agentes software". Actas del Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia, CMPI-2006, Vol. I, pp. 389-400
- B) **Publicado:** en Junio del 2007, en el congreso internacional Primer Congreso Internacional de Matemáticas en Ingeniería y Arquitectura: Samer Hassan Collado, María Guijarro Mata-García, Luis Garmendia Salvador: "Aplicaciones de lógica borrosa a sistemas sociales con agentes software", Actas del congreso, Madrid, (2007) 256—265
- C) **Aceptado para su publicación** un artículo para el HAIS 07 - CAEPIA 2007, 2nd International Workshop on Hybrid Artificial Intelligence Systems, Noviembre 2007: Samer Hassan, Luis Garmendia y Juan Pavón : "Agent-Based Social Modeling and Simulation with Borrosa Sets"
- D) **Publicado:** en Abril del 2007, en el congreso internacional AISB'07 - Artificial and Ambient Intelligence: Carlos León, Samer Hassan and Pablo Gervás: "From the Event Log of a Social Simulation to Narrative Discourse: Content Planning in Story Generation", Proceedings of the AISB Annual Convention, Newcastle, UK (2007) 402—409
- E) **Aceptado para su publicación** un artículo para el 4th International Joint Workshop on Computational Creativity, en Junio del 2007: Samer Hassan, Pablo

Gervás, Carlos León, Raquel Hervás: “A Computer Model that Generates Biography-like Narratives”

- F) **Aceptado para su publicación** un artículo para la revista de ámbito internacional “Pattern Recognition Letters” (ISSN: 0167-8655) en el 2007: Juan Pavón, Millán Arroyo, Samer Hassan and Candelaria Sansores: “Agent Based Modelling and Simulation for the Analysis of Social Patterns”. Título del número de la revista: *Pattern Recognition in Interdisciplinary Perception and Intelligence*. (**Factor de Impacto 1,138 según JCR 2005** )
- G) **Aceptado para su publicación** un artículo para el 4th European Social Simulation Association (ESSA) Conference, Septiembre 2007: Samer Hassan, Juan Pavón, Millán Arroyo, Carlos León: “Agent Based Simulation Framework for Quantitative and Qualitative Social Research: Statistics and Natural Language Generation”
- H) **Aceptado para su publicación** un artículo para el IX Congreso Español de Sociología, Septiembre 2007: Millán Arroyo y Samer Hassan: “Simulación de procesos sociales basada en agentes software”

## **A.1 Artículo A**

Publicado en Julio del 2006, en el marco del congreso internacional del Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia: J. Pavón, M. Arroyo, S. Hassan y C. Sansores: "Simulación de sistemas sociales con agentes software". Actas del Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia, CMPI-2006, Vol. I, pp. 389-400

## **A.2 Artículo B**

Publicado en Junio del 2007, en el congreso internacional Primer Congreso Internacional de Matemáticas en Ingeniería y Arquitectura: Samer Hassan Collado, María Guijarro Mata-García, Luis Garmendia Salvador: “Aplicaciones de lógica borrosa a sistemas sociales con agentes software”, Actas del congreso, Madrid, (2007) 256—265

### **A.3 Artículo C**

Aceptado para su publicación un artículo para el HAIS 07 - CAEPIA 2007, 2nd International Workshop on Hybrid Artificial Intelligence Systems, Noviembre 2007: Samer Hassan, Luis Garmendia y Juan Pavón : “Agent-Based Social Modeling and Simulation with Borrosa Sets”

## **A.4 Artículo D**

Publicado en Abril del 2007, en el congreso internacional AISB'07 - Artificial and Ambient Intelligence: Carlos León, Samer Hassan and Pablo Gervás: “From the Event Log of a Social Simulation to Narrative Discourse: Content Planning in Story Generation”, Proceedings of the AISB Annual Convention, Newcastle, UK (2007) 402—409

## **A.5 Artículo E**

Aceptado para su publicación un artículo para el 4th International Joint Workshop on Computational Creativity, en Junio del 2007: Samer Hassan, Pablo Gervás, Carlos León, Raquel Hervás: “A Computer Model that Generates Biography-like Narratives”

## **A.6 Artículo F (Factor de Impacto 1,138 JCR 2005)**

Aceptado para su publicación un artículo para la revista de ámbito internacional “Pattern Recognition Letters” (ISSN: 0167-8655) en el 2007: Juan Pavón, Millán Arroyo, Samer Hassan and Candelaria Sansores: “Agent Based Modelling and Simulation for the Analysis of Social Patterns”. Título del número de la revista: Pattern Recognition in Interdisciplinary Perception and Intelligence. (**Factor de Impacto 1,138 según JCR 2005**)

## **A.7 Artículo G**

Aceptado para su publicación un artículo para el 4th European Social Simulation Association (ESSA) Conference, Septiembre 2007: Samer Hassan, Juan Pavón, Millán Arroyo, Carlos León: “Agent Based Simulation Framework for Quantitative and Qualitative Social Research: Statistics and Natural Language Generation”

## **A.8 Artículo H**

Aceptado para su publicación un artículo para el IX Congreso Español de Sociología, Septiembre 2007: Millán Arroyo y Samer Hassan: “Simulación de procesos sociales basada en agentes software”