

Simulación de sistemas sociales con agentes software

Juan Pavón^{1*}, Millán Arroyo², Samer Hassan¹ y Candelaria Sansores¹

¹ Universidad Complutense Madrid, Facultad de Informática, Ciudad Universitaria s/n,
28040 Madrid, España
jpavon@sip.ucm.es, samer2004@gmail.com, csansores@fdi.ucm.es

² Universidad Complutense Madrid, Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, Dep. Sociología IV, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España millan@cps.ucm.es

Resumen. La simulación con agentes software abre nuevas posibilidades para el estudio de fenómenos sociales. La teoría de agentes software facilita el modelado de los aspectos organizativos y de comportamiento de los individuos de una sociedad. Un agente puede representar un individuo en una sociedad, que percibe y reacciona ante los eventos de su entorno de acuerdo a su estado mental (creencias, deseos, intenciones), y que interactúa con otros agentes de su entorno social. Existen herramientas para realizar la simulación con agentes pero éstas requieren un conocimiento de técnicas de programación que normalmente son ajenas a los sociólogos. Para salvar esta dificultad proponemos la utilización de lenguajes gráficos de modelado de agentes adaptados al dominio de estudio sociológico junto con herramientas de generación de código ejecutable en las plataformas de simulación. La construcción de este marco de trabajo está basada en los métodos y herramientas de INGENIAS, una metodología para el desarrollo de sistemas multi-agente.

1 Introducción

Los fenómenos sociales son altamente complejos, pues se hallan imbricados en complejas redes de interacción e interdependencia mutua. Las explicaciones sociológicas requieren asimismo de modelos explicativos complejos, en los que múltiples factores (cambiantes) interactúan con el fenómeno que se trata de explicar y entre sí mismos. La simplificación de los modelos explicativos, en parte deseable, es especialmente delicada, pues a menudo dan lugar a artefactos teóricos poco fieles con las observaciones empíricas.

Un sistema social está constituido por un colectivo de individuos que interactúan mutuamente entre sí o a través de artefactos de su entorno social. Estos individuos evolucionan de forma autónoma (tienen su idiosincrasia particular), están motivados por sus propias creencias y objetivos personales, y las circunstancias del entorno so-

* Trabajo realizado en el contexto del proyecto "Métodos y herramientas para modelado de sistemas multiagente", subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia, referencia TIN2005-08501-C03-01.

cial en el que se mueven moldean en gran medida dichas creencias y objetivos personales. No se nos debe escapar que esas creencias y objetivos pueden a su vez evolucionar en el tiempo para cada individuo, bien sea por su peculiar peripecia biográfica, irreplicable, o por el momento que atraviesa en su ciclo vital o por los cambios de las tendencias sociales (cambios en el entorno). En relación con esto último, es importante señalar que la población evoluciona demográficamente y esto tiene repercusiones a nivel micro y a nivel macro. A nivel micro, los individuos están sujetos probabilísticamente a pautas de *ciclo de vida* (marcadas fundamentalmente por la demografía, aunque no solo): se emparejan, se reproducen y finalmente mueren, pasando por diversas etapas en las que se sujetan a distintos patrones de comportamientos e intenciones. Dichas tendencias demográficas a su vez, a nivel macro, tienen implicaciones sobre el sistema social (influyen en éste y son influidas por éste) y por tanto capacidad de interacción dinámica con otros procesos sociales. Por otro lado, es preciso tener en cuenta que todos los fenómenos sociales son absolutamente contingentes, y por tanto impredecibles y cambiantes. No están sujetos a leyes, sino a tendencias, las cuales pueden afectar a los individuos probabilísticamente. La indeterminación de los procesos y los sistemas sociales es mucho mayor que en los sistemas físicos o incluso los biológicos.

Todos estos determinantes contribuyen a que un sistema social sea altamente dinámico y complejo y por ello su reductibilidad mediante el mero recurso a la modelización matemática (modelización mediante ecuaciones estructurales, análisis estadísticos multivariantes o tratamientos estadísticos de series temporales) adolece de serias limitaciones, tanto desde el interés explicativo como predictivo. El principal problema de la modelización matemática es que sólo permite jugar con tendencias (probabilísticas) y no considera el comportamiento original del sujeto, pieza básica de cualquier sistema social. Los efectos dinámicos de procesos altamente retroalimentados no quedan bien reflejados en los tratamientos matemáticos-estadísticos, y sin embargo dichos procesos son consustanciales a los sistemas sociales reales.

Por su parte, un sistema multi-agente (SMA) consta de un conjunto de entidades software autónomas (los agentes) que interaccionan mutuamente y con su entorno. El hecho de ser autónomos significa que los agentes son entidades activas que pueden tomar sus propias decisiones. Esto no es así, por ejemplo, con objetos, que están predeterminados a realizar las operaciones que se les soliciten. Un agente, sin embargo, decidirá si realiza o no una operación solicitada, para lo cual tendrá en cuenta sus objetivos y prioridades, así como el contexto en que crea encontrarse.

Puede entenderse, por tanto, que el paradigma de agentes 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. 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) [1].

En este contexto se han desarrollado varias herramientas que permiten la simulación de sistemas complejos, entre ellos los sistemas sociales, utilizando como base el paradigma de agentes software. Un sistema de simulación basada en agentes permite ejecutar un conjunto de agentes, que pueden ser de distintos tipos, en un entorno en el cual se pueden realizar observaciones de su comportamiento. Estas observaciones

permiten analizar el comportamiento colectivo emergente y las tendencias de la evolución del sistema. De esta manera se pueden realizar estudios empíricos de los sistemas sociales. Dado que la simulación se realiza en un entorno controlado, en una o varias computadoras, este tipo de herramientas permiten realizar experimentos y estudios que de otra forma serían inviables.

Existen, a nuestro modo de ver, algunas limitaciones que no podemos obviar a la hora de simular sistemas sociales reales. La principal consiste en que el individuo (a diferencia del agente software) es en sí mismo una estructura compleja y por tanto su comportamiento es más imprevisible y menos determinado que el del agente, cuyos comportamientos y capacidades perceptuales se diseñan con relativa sencillez. Además, no es posible en la práctica considerar en la simulación los innumerables matices que cabe encontrar en un sistema social real, en lo que se refiere a la interacción de los agentes, la caracterización del entorno, etc. Por esto ha de entenderse que es imposible o poco práctico pretender la simulación de un sistema social en su globalidad. En cambio, debemos y podemos limitarnos a simular un proceso social concreto en un contexto sistémico e interactivo. Por tanto, la simulación de sistemas sociales debe ser concebida en términos del centramiento sobre un proceso concreto.

Pese a las limitaciones, el paradigma multi-agentes parece adaptarse de forma adecuada a la naturaleza y peculiaridades de los fenómenos sociales, permitiendo superar las limitaciones de los métodos de modelado matemáticos. Sin embargo, los sociólogos y científicos sociales potencialmente interesados en utilizar esta nueva metodología se enfrentan a una dificultad de orden práctico que no debe ignorarse. La utilización de estos sistemas no es sencilla ya que los modelos se especifican como programas, generalmente utilizando un lenguaje de programación orientado a objetos. Esto hace que la definición de modelos por parte de sociólogos no sea una tarea sencilla para éstos, ya que habitualmente no disponen de la adecuada formación informática para esta tarea. Algunos esfuerzos se están realizando para tratar de facilitar el modelado gráfico de estos sistemas, como en Sesam (www.simsesam.de), que permite modelar gráficamente el comportamiento como máquinas de estados finitos usando una librería de comportamientos básicos, o Repast Py (repast.sourceforge.net/repastpy), aunque en este último al final hay que acabar escribiendo scripts con Python. El problema en estas soluciones es que todavía siguen siendo necesarios los conocimientos de programación y que los tipos de sistemas que se pueden modelar son bastante simples (se trata más bien de herramientas de prototipado rápido).

Dentro de la ingeniería de software orientada a agentes existen, sin embargo, lenguajes gráficos de modelado de SMA de mayor nivel de abstracción. Los conceptos utilizados en estos lenguajes pueden ser más cercanos a los que utilizaría un sociólogo y por ello nos parece que pueden ser apropiados para resolver el problema que hemos planteado. Partiendo de esta hipótesis, proponemos la utilización de una metodología de desarrollo de SMA, concretamente, INGENIAS [6]. Esta elección se debe a que INGENIAS proporciona un conjunto de herramientas, el INGENIAS Development Kit (IDK), que facilitará su aplicación para modelar, y posteriormente simular, sistemas sociales:

- Un editor gráfico para modelar los sistemas multi-agente. Este editor permite utilizar el lenguaje INGENIAS o una notación similar a UML. Pero lo más interesante para la simulación social es que el editor se puede personalizar para un do-

minio de aplicación concreto (se ha realizado para sistemas holónicos en la Univ. Politécnica de Valencia [1], por ejemplo). Esto permitirá crear editores especializados para ámbitos de estudios sociológicos específicos.

- Módulos de generación de código. Estos módulos permitirán transformar el modelo gráfico en un programa ejecutable en un entorno de simulación, salvando así la distancia entre el modelado y la programación. Además, sería posible generar código para varios entornos de simulación basada en agentes, lo cual es interesante para replicar el mismo modelo sobre distintos entornos y validar mejor los resultados obtenidos.
- Módulos de verificación de propiedades. Es posible analizar si un modelo cumple un conjunto de requisitos. Para ello, estos módulos recorren el modelo analizando la satisfacción de las propiedades para los que hayan sido diseñados.
- Módulo de generación de documentación. Similar a un módulo de generación de código pero lo que genera es un conjunto de páginas HTML que permiten documentar un modelo de sistema social.

En la siguiente sección se presentan elementos del lenguaje de modelado INGENIAS para SMA que pueden ser útiles para el modelado de sistemas sociales. Como para el estudio de estos últimos se requieren algunas facilidades que no se habían tenido en cuenta, por no ser inicialmente necesarias para el desarrollo de SMA, ha sido necesario considerar extensiones, que se presentan en la sección 3. Para ilustrar cómo sería el modelado de uno de estos sistemas, en la sección 4 se muestra un caso real desarrollado en colaboración con profesores de la Facultad de Sociología. Para concluir, en la sección 5 se discuten las principales contribuciones de este trabajo y los aspectos que se plantean para su mejora.

2 El lenguaje de modelado INGENIAS

INGENIAS es una metodología para la construcción de sistemas multi-agente (SMA) que integra gran parte de propuestas que se han desarrollado en este ámbito. Esta integración se ha producido mediante la experimentación en la realización de múltiples aplicaciones de agentes a lo largo de los últimos años. Por esta razón, y como proyecto de investigación, INGENIAS asume desde el principio la evolución del lenguaje de modelado para SMA que utiliza en sus métodos y herramientas. Para facilitar esta evolución la especificación del lenguaje de modelado INGENIAS está basada en un lenguaje de meta-modelado, concretamente MOF (*Meta-Object Facility*) [5], un estándar del OMG (*Object Management Group*).

Las herramientas, el INGENIAS Development Kit (IDK), están generadas a partir de la especificación (meta-modelo) del lenguaje de modelado INGENIAS. De esta manera, si se cambia el meta-modelo, por ejemplo para añadir o refinar algún concepto, se puede generar automáticamente una nueva versión del IDK para tenerlo en cuenta. De la misma manera es posible personalizar las herramientas para un lenguaje específico simplemente describiendo las extensiones que requiera sobre el meta-modelo de INGENIAS. Así la evolución de INGENIAS resulta relativamente sencilla.

El lenguaje de modelado INGENIAS está estructurado en cinco paquetes, que re-

presentan los puntos de vista que se pueden considerar para definir un SMA (véase la Fig. 1): organización, agente, objetivos/tareas, interacciones y entorno. A continuación se introducen brevemente los elementos más relevantes de cada uno de estos puntos de vista. Su utilización y la notación gráfica asociada se ilustran en el ejemplo de la sección 4.

La **organización** del sistema multi-agente determina el marco en el que los agentes conviven. Define relaciones estructurales (grupos de agentes, jerarquías), normas sociales (limitaciones y formas en el comportamiento de los agentes y sus interacciones), y procesos (en inglés, *workflows*, que determinan cómo colaboran los agentes realizando tareas de la organización). Una organización se estructura en *grupos*. Puede haber varias formas de estructurar una organización. Por ejemplo, de acuerdo a necesidades funcionales. O al mismo tiempo también se podría considerar otra estructuración por distribución geográfica. Un agente, por tanto, puede pertenecer en un momento dado a varios grupos. En general, para dar más flexibilidad a la definición de organizaciones se utiliza el concepto de *rol*, que representa un conjunto de funcionalidad o servicios en una estructura organizativa. Los agentes juegan roles en la organización. Varios agentes pueden jugar el mismo rol, cada uno de forma distinta atendiendo a sus capacidades y estrategias. En cuanto a los procesos, reflejan la dinámica de la organización. Un proceso está definido por un conjunto de tareas o actividades que fluyen a través de la organización (de ahí la denominación inglesa de *workflow*). Las tareas en un proceso producen resultados que pueden ser utilizados por otras para producir nuevos resultados. Las tareas, asimismo, serán ejecutadas por agentes que requerirán para ello de recursos de la organización. Ambos aspectos, estructural y dinámico, definen la visión *macro* del sistema multi-agente. Esta perspectiva facilita la gestión de sistemas complejos ya que permite determinar el contexto y normas de actuación de los agentes, al igual que ocurre cuando se trata de organizaciones humanas.

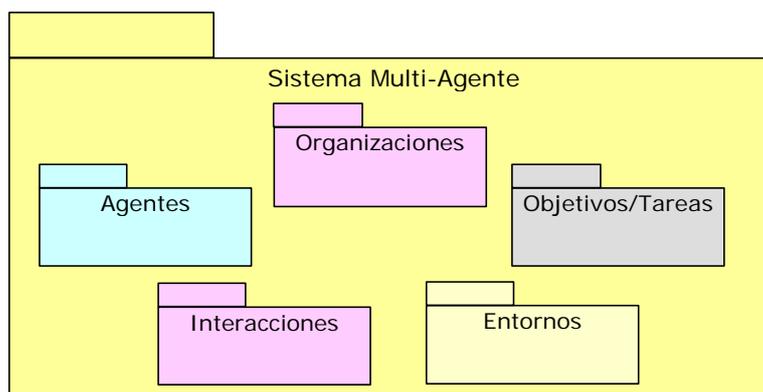


Fig. 1. Puntos de vista de un SMA según INGENIAS

El comportamiento de los **agentes** viene determinado por su estado mental. El estado mental es el conjunto de objetivos y creencias que tiene el agente en un momento dado. Además, el agente tiene un procesador de estado mental que le permite decidir qué tarea realizar y un gestor de estado mental para crear, modificar o eliminar ele-

mentos del estado mental. INGENIAS no explicita cómo se define el procesador de estado mental porque se considera que hay formas muy variadas de realizarlo. Por ejemplo, podría ser un motor de inferencia sobre un conjunto de reglas, razonamiento basado en casos, o una red neuronal. Dependerá de las necesidades de la aplicación o el mecanismo más adecuado según el desarrollador.

Los agentes son entidades intencionales, esto es, actúan porque persiguen unos **objetivos**. Como además son entidades sociales, colaboran para conseguir satisfacer objetivos de la organización. A la hora de diseñar un SMA se puede empezar identificando objetivos de la organización (del sistema) y descomponerlo en otros más sencillos sucesivamente hasta llegar a objetivos más concretos para los cuales se puedan definir **tareas** específicas que puedan conducir a su satisfacción. Otra posibilidad es identificar objetivos individuales para los agentes, que también podrían descomponerse de manera similar. En ambos casos, al final habrá una relación entre objetivos y tareas.

Como entidades sociales, los agentes interactúan entre sí. Las **interacciones** se pueden producir de muchas maneras, siendo las más comunes el intercambio de mensajes o la utilización de espacios comunes donde los agentes pueden actuar (produciendo modificaciones) y percibir (un ejemplo de este segundo caso es una pizarra compartida). Además, y a diferencia de la mayoría de las metodologías orientadas a agentes, en INGENIAS otro aspecto fundamental es la intencionalidad de la interacción: qué objetivos persiguen las partes en una interacción.

Finalmente, el **entorno** es lo que los agentes perciben y donde pueden actuar. Dependiendo de la aplicación, la percepción y actuación tienen significados muy variados. El entorno estará constituido por un conjunto de recursos, aplicaciones y otros agentes. En muchas ocasiones el entorno se puede especificar como un conjunto de interfaces de aplicación, que serían las clases que lo recubren o que permiten interactuar con él. De hecho, si el entorno son librerías u otras aplicaciones. Para simulación social, el entorno de los agentes (individuos de una sociedad en tal caso) requiere considerar la localización de los mismos. Este aspecto se trata en la siguiente sección.

3 Extensión de INGENIAS para simulación social

Hay algunos aspectos relativos a la definición de modelos listos para simular que son difíciles de expresar con el lenguaje de modelado INGENIAS en su estado actual. Es por eso que se han planteado extensiones a dicho lenguaje. Esencialmente son dos los aspectos a considerar relativos a las perspectivas espacial y temporal de las simulaciones. Estos aspectos se podrían considerar como extensiones del paquete de entorno.

La perspectiva temporal trata el flujo de tiempo en el modelo durante la ejecución de la simulación. En nuestro caso asumimos que las simulaciones serán dirigidas por tiempo (en vez de por eventos discretos) ya que la mayoría de los entornos de simulación basados en agentes así lo hacen. Por tanto, hace falta modelar pasos de tiempo constantes para simular el ciclo percepción-reacción de los agentes que actúan con el paso del tiempo.

La perspectiva espacial describe los aspectos relacionados con el posicionamiento

de los agentes en un espacio. En general, los entornos de simulación basada en agentes proporcionan espacios de dos y tres dimensiones con configuraciones muy diversas.

Estas extensiones requieren modificar el meta-modelo de INGENIAS y regenerar las herramientas. Así, se puede definir un nuevo entorno de desarrollo IDK especializado para simulación. Tal como se muestra en la Fig. 2, el sociólogo, como experto del dominio y modelador, definirá y modificará los modelos sociales a simular con el editor del IDK extendido. Desde este editor se pueden invocar distintos tipos de módulos. Normalmente, antes de generar el código para el simulador habrá que verificar que los modelos son correctos de acuerdo a ciertas propiedades. Por ejemplo, que todos los elementos necesarios para la simulación hayan sido definidos y que no haya agentes sin tareas asignadas o aislados completamente. Otro tipo de propiedades que se vayan considerando útiles también se podrán verificar, pero para ello habrá que crear nuevos módulos. Una vez que los modelos cumplen las propiedades requeridas se puede generar el código para un simulador particular. Para ello se invoca el módulo de generación de código correspondiente. El código que se obtiene es fuente y habrá que compilarlo junto con las librerías (paquetes) del simulador. A partir de ese momento se puede utilizar el simulador y sus herramientas para obtener e interpretar los resultados de la simulación..

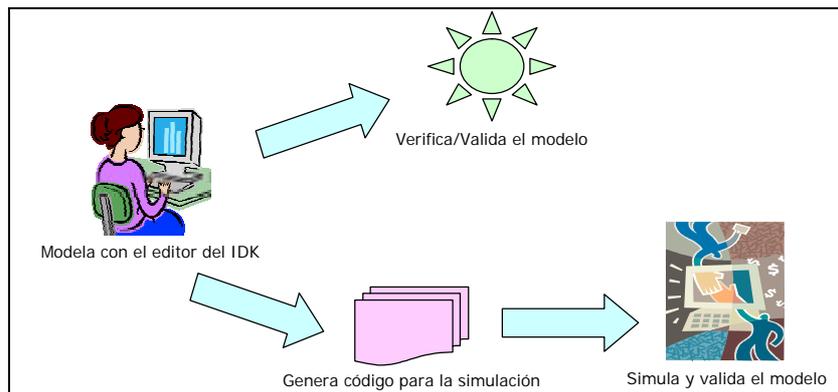


Fig. 2. Desarrollo de modelos de simulación social con el IDK

4 Ejemplo: Estudio de la religiosidad en la sociedad española

Simular la evolución de la religiosidad de los españoles es un caso idóneo para validar nuestra propuesta por tratarse de un proceso social complejo, en la medida que tiene elementos en común con muchos otros problemas susceptibles de ser abordados por sociólogos mediante simulación, especialmente aquellos relacionados con las dinámicas de cambio.

La validación del modelo se realiza comprobando que, a partir de las condiciones iniciales observadas en 1990, la simulación evoluciona ajustándose a los datos empíri-

cos conocidos [1]. Ello permitiría poder realizar predicciones fiables de la evolución social y alcanzar un conocimiento teórico más profundo de cómo y por qué se están transformando los posicionamientos religiosos de los españoles.

Para ilustrar cómo modelar este tipo de problemas con INGENIAS a continuación se muestran algunos aspectos relevantes a partir de un estudio sociológico real sobre el tema [2]. Es importante en esta discusión observar cómo los conceptos de agentes pueden corresponderse directamente con la terminología utilizada en el discurso sociológico. En España se está experimentando un proceso de secularización intenso caracterizado por un brusco y rápido descenso de la práctica religiosa y de la confianza y credibilidad de la población hacia la institución eclesial, mientras que otros indicadores de otras dimensiones de la religiosidad disminuyen en el tiempo con mucha mayor suavidad que los mencionados (por ejemplo, las creencias, la importancia atribuida a Dios en la vida, o el deseo de espiritualidad, entre otras). Este descenso, además de favorecer la emergencia de contingentes de población no creyente, está favoreciendo la emergencia de nuevas formas de religiosidad, en detrimento de la religiosidad más ortodoxa y tradicional (los que siguen los preceptos de la Iglesia y van a misa regularmente), distinguiendo al menos dos tipos de formas de religiosidad emergentes. Por un lado, es destacable una religiosidad de *baja intensidad* en la cual las funciones religiosas se reducen a una mínima expresión sin desaparecer (tiende a recurrirse a la religión solo o casi solo en momentos especiales y señalados de la vida; rituales de nacimiento, matrimonio, muerte, momentos de tensión por dificultades, grandes cambios vitales o momentos significados de la vida). Y, por otro lado, es también destacable un grupo significado y cada vez mayor de individuos que, sintiéndose religiosos y con una vida religiosa relativamente importante, manifiestan abiertamente su desencuentro con la Iglesia y tratan de vivir su religiosidad ignorando sus preceptos.

Así, para el objeto de este estudio, se pueden considerar cuatro grupos que reflejan las tendencias sociales, tal como se refleja en el diagrama de organización de la Fig. 3. En ésta se utiliza el concepto de organización de SMA para representar (como un icono rectangular con tres círculos) la sociedad y cada colectivo como un grupo (icono rectangular con dos círculos), esencialmente los siguientes:

- *Eclesiales* (22%, en descenso). Católicos que confían en la Iglesia y asisten a misa semanalmente.
- *Laxos* (23%, estables). Católicos que confían en la iglesia y asisten a misa solo ocasionalmente o nunca.
- *Alternativos* (19%, en aumento). Católicos (en su inmensa mayoría, aunque no todos) que se sienten personas religiosas pero que no confían en la Iglesia y no asisten regularmente a misa.
- *Arreligiosos* (35%, en aumento). No confían en la Iglesia y no se consideran personas religiosas.

En cada categoría podrían establecerse ciertas subcategorías, en las que ahora no vamos a entrar. Una distinción de especial relevancia entre los *eclesiales* puede ser la distinción entre religiosos profesionales (predicadores) y *fieles*. Entre los *alternativos* la principal distinción se da entre los que disienten de la jerarquía eclesial (desde dentro (comunidades de base, afines a teologías desautorizadas, etc.) y los que reconstituyen su religiosidad ignorando a la Iglesia: movimientos *New Age*, religiosidad

individualizada, etc.). Entre los arreligiosos la principal distinción sería entre los indiferentes y los abiertamente no creyentes (agnósticos y ateos).

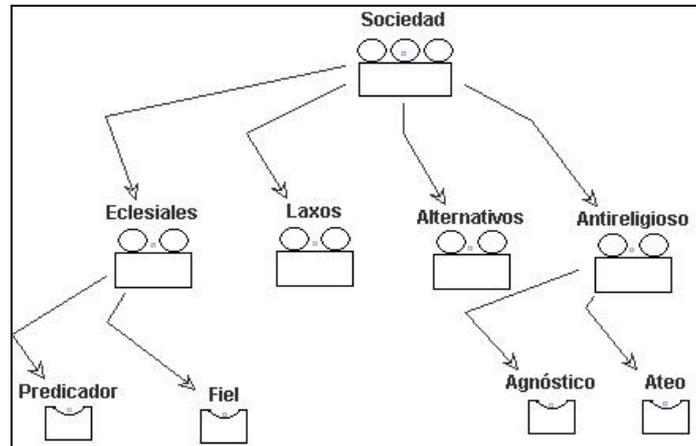


Fig. 3. Grupos sociales en el estudio sobre religiosidad

Otras características a tener en cuenta a la hora de modelar al individuo son las relacionadas con la posición del sujeto en la estructura social: las variables estructurales sociodemográficas y socioeconómicas. Independientemente de que influyan o no en la religiosidad, son necesarias para simular una sociedad, porque definen las pautas de interacción social. Los individuos se comportan y piensan de distintas maneras de acuerdo con dichas características: Sexo, edad, estado civil, si tienen hijos o no y cuantos, estudios, ocupación, y estatus económico, al menos.

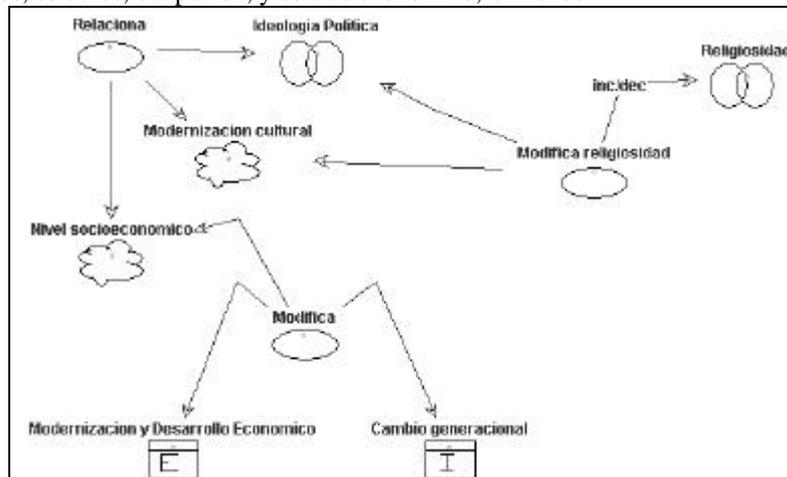


Fig. 4. Ejemplo de proceso de transformación

Estos procesos de transformación de la religiosidad están profundamente imbricados en otros fenómenos sociales con los que interactúan mediante procesos de retroalimentación (positiva o negativa). Se trata de los factores intervinientes que influyen

en la pertenencia o cambio de las categorías descritas. Por ejemplo, existen fuertes vínculos entre religiosidad (o irreligiosidad) de un lado y la ideología política y la modernización cultural por otro. Los políticamente conservadores presentan una alta predisposición a mantenerse como eclesiales, mientras que los de izquierda la rechazan fuertemente. Los más modernos tienden a la vez a estar más secularizados (serán mayoritariamente arreligiosos) mientras que los más tradicionales serán mayoritariamente eclesiales.

De la misma manera, la ideología política y la modernización cultural interaccionan mediante retroalimentación entre sí. También la religiosidad mantiene una estrecha relación con otras variables o factores explicativos, como la edad o el género. Con la edad sobre todo como consecuencia del cambio de valores (actitudes, creencias, percepciones y sensibilidades) asociado a la modernización cultural, la cual a su vez incide en las actitudes políticas. Y con el género en la medida que existen importantes diferencias culturales que inciden fuertemente en la orientación religiosa, si bien se atenúan bastante (sin desaparecer) en la medida que se asumen los nuevos valores de la modernización cultural.

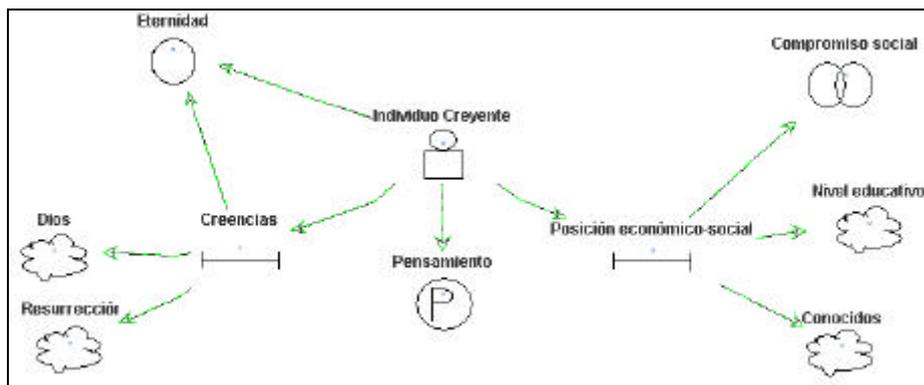


Fig. 5. Modelado del individuo creyente

De otro lado, la modernización cultural no es ajena a la modernización y desarrollo económico, así como a la desigual distribución de la renta, la riqueza y la capacidad adquisitiva. En la medida que los estudios y los contactos interpersonales alcanzan una posición socioeconómica, contribuirán indirectamente, en alguna medida, a modificar las posiciones políticas y las religiosas. Como también el crecimiento económico incide en el desarrollo de la modernización cultural.

En la tarea de vincular dichos conceptos abstractos a un modelo adaptado a los SMA se debe considerar semánticamente equivalentes el sistema complejo a simular y el conjunto, muy numeroso y descentralizado, de agentes (que representan individuos), situados en un entorno cerrado. Por tanto, *la especificación de características y comportamiento de cada agente se hace esencial*, para que recoja todas las dimensiones que influyan en el problema estudiado, a modo de los índices en la investigación cuantitativa sociológica. Dichas características se transforman en variables interrelacionadas entre sí y con unas reglas de evolución particulares (no varía de igual forma la edad que el nivel económico). En la Fig. 5 se muestra un ejemplo de un agente que

representa a un individuo creyente, que tiene como objetivo lograr la eternidad, y como base de creencias conceptos como Dios o la Resurrección. Asimismo tiene un nivel socio-económico constituido por varias variables como su nivel educativo, su red de conocidos (que se asociaría a un grupo en un diagrama de organización, no representado en esta figura), y compromisos adquiridos. La evolución del comportamiento del agente, en este caso los componentes que definen su religiosidad, viene determinado por un procesador de estado mental, que en el modelo se representa como el componente Pensamiento. Este componente será una función o un conjunto de reglas que determinan la evolución de las distintas variables.

Estos agentes-individuos podrán evolucionar dinámicamente, en función de su estado y de su entorno, siguiendo un *ciclo de vida* determinado por diversas variables ya comentadas. Pero a su vez, cada uno podrá relacionarse con otros sujetos de su entorno, perteneciendo y formando *grupos* de individuos. Representando los profundos vínculos que se articulan en los colectivos sociales, *sus integrantes se influirán entre sí* teniendo en cuenta las citadas tendencias probabilísticas propias de las ciencias sociales, definidas como fórmulas relacionales que pretenden recoger la múltiple interdependencia de las numerosas variables. Gracias al comportamiento autónomo y flexible de los agentes, a pesar de estar sujetos a las continuas presiones del sistema, se puede observar un comportamiento emergente del conjunto de ellos, cuyas dinámicas de evolución pueden ser estudiadas en sus dimensiones tanto *espacial* (con la extensión de los vínculos grupales) como *temporal* (atendiendo a su demografía).

En esta línea, se puede estudiar, por ejemplo, la influencia religiosa de un grupo especial, la familia, sobre los individuos jóvenes, y cómo ésta va teniendo menos peso sobre ellos a medida que pasan los años. Con el tiempo los agentes, sometidos a mayores influencias y envueltos en otros grupos, podrían relegar a un segundo plano la determinante presión familiar. El conjunto de comportamientos de la misma generación sería expresado por gráficas auto-generadas por el programa simulador, que al ser analizadas e interpretadas permiten, mediante inducción, corroborar (o reformular) hipótesis teóricas. La simulación permite así sustituir al método empírico por excelencia: el experimento.

5 Conclusiones

Con el proceso y herramientas aquí descritos lo que se ha logrado es, esencialmente, eliminar la necesidad de codificar los modelos de simulación social con un lenguaje de programación. En vez de esto, el usuario crea sus modelos de forma gráfica y trabaja con conceptos de un nivel de abstracción mayor. Además, se dispone de un conjunto de herramientas para verificar el cumplimiento de propiedades específicas por los modelos. Estas herramientas se pueden extender si se requiere verificar nuevas propiedades (aunque para ello hace falta la intervención de un ingeniero informático que sepa utilizar la interfaz de programación del IDK para creación de módulos). El usuario sólo tiene que conocer el entorno de simulación y las herramientas que le ofrezca para generar resultados (por ejemplo, diagramas y gráficos de la evolución del sistema).

Otra ventaja de este planteamiento es que se puede hacer replicación de las simulaciones en distintos entornos. Como el modelo se realiza utilizando un lenguaje de modelado gráfico y luego se transforma en código, realizando la transformación para varios entornos de simulación se podrán comparar los resultados posteriormente. En este sentido ya hemos realizado experimentos con RePast y Mason [7], donde hemos estudiado los efectos que pueden tener distintas estrategias de planificación de la simulación. Una vez que se hayan desarrollado varios módulos de generación de código, la simulación de un modelo abstracto cualquiera en diversos entornos será trivial.

El IDK no proporciona módulos de interpretación de los resultados obtenidos con el simulador. Consideramos que la presentación de resultados directamente en los entornos de simulación es suficiente para el propósito del sociólogo siempre que los elementos del modelo se hayan correspondido adecuadamente con elementos del código del modelo en el simulador (por ejemplo, utilizando los mismos nombres para los agentes en el modelo y en el simulador). De esta manera los diagramas de resultados que proporciona el simulador son fácilmente interpretables por el usuario.

Es posible también hacer una simulación directa sobre el modelo con el IDK, utilizando código generado sobre la plataforma de agentes JADE, pero su ejecución se realiza paso a paso controlada por el usuario. Esto puede resultar tedioso pero es útil para depurar y validar el modelo (comprobar que hace lo que se espera que haga). No nos hemos planteado en el IDK hacer un simulador más potente. Nos ha parecido más interesante reutilizar y facilitar la replicación sobre los entornos existentes, ya bastante avanzados.

Respecto al lenguaje de modelado, la definición de lenguajes más orientados a cada dominio de estudio sería más apropiada que la aplicación directa de INGENIAS. Para ello tenemos previsto definir con equipos de sociólogos cómo serían estos lenguajes y personalizar el editor del IDK para cada uno.

Referencias bibliográficas

1. Andrés Orizo, F. 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.
2. Arroyo Menéndez, M.: *Cambio cultural y cambio religioso, tendencias y formas de religiosidad en la España de fin de siglo*. Servicio de Publicaciones de la UCM. Madrid, 2004.
3. Bratman, M.E.: *Intentions, Plans and Practical Reason*. Harvard University Press, 1987.
4. Giret, A., Botti, V., and Valero, S.: MAS Methodology for HMS. En: *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing, HoloMAS 2005*. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3593. Springer-Verlag (2005) 39—49.
5. OMG: *Meta Object Facility (MOF) Specification. Version 1.4* (2002) formal/02-04-03.
6. Pavón, J., Gómez-Sanz, J.J. & Fuentes, R.: The INGENIAS Methodology and Tools. En: *Agent-Oriented Methodologies*. Idea Group Publishing (2005), 236—276.
7. Sansores, C. y Pavón, J.: Agent-Based Simulation Replication: A Model Driven Architecture Approach. En: *4th Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICA I 2005)*. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3789. Springer-Verlag (2005) 244—253.
8. Sansores, C., Pavón, J. y Gómez-Sanz: Visual Modeling for Complex Agent-Based Simulation Systems. En: *Int. Workshop on Multi-Agent-Based Simulation 2005, MABS 2005*. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3891, Springer-Verlag (2006) 174—189.