

Simulación de procesos sociales basada en agentes software:

Grupo de Trabajo 01: METODOLOGÍA.

ARROYO MENÉNDEZ, MILLÁN. Prof. de la Facultad de CCPP y Sociología. (UCM). Dptº Sociología IV. Campus de Somosaguas, Pozuelo de Alarcón 28223 Madrid. Tel: 91-3942799 Fax: 91-3942673. millan@cps.ucm.es

HASSAN COLLADO, SAMER. Investigador del Grupo de Agentes Software, Ingeniería y Aplicaciones de la facultad de Informática (UCM). Dptº Ingeniería del software e inteligencia artificial. C/ Profesor José García Santesmases, s/n. Madrid 28040. Tel: 91-3947528. Fax: 91-3947529. samer@fdi.ucm.es

1) ¿Qué es la simulación social basada en agentes software?

El propósito de este artículo es el de dar a conocer a los sociólogos en qué consiste la simulación social, sus posibilidades y limitaciones para la investigación en sociología, partiendo de nuestra experiencia como miembros del Grupo de Agentes Software, Ingeniería y Aplicaciones de la Universidad Complutense de Madrid (GRASIA). Debemos empezar reconociendo que algunas de esas posibilidades y limitaciones las estamos todavía descubriendo, y entendemos que este proceso en marcha, apenas empezado, no culminará hasta haber alcanzado una mayor experiencia en simulación social, algo de lo que aún no podemos presumir.

Nuestra experiencia (aún incipiente) se basa en que el equipo de GRASIA está comenzando a aplicar los conocimientos y experiencias adquiridos en simulación con agentes en otros ámbitos en el desarrollo de una herramienta para la simulación en ciencias sociales. Dicha herramienta consistirá en un software que permitirá a los sociólogos elaborar simulaciones sin necesidad de depender de un experto en inteligencia artificial ni de tener conocimientos ni habilidades de programación. Dicho propósito es innovador, no existe aún ninguna herramienta de este tipo. Para empezar a desarrollarla es imprescindible primero elaborar un modelo de simulación (primero uno, luego más de uno) que parta de lo concreto, de necesidades reales de la sociología actual y extrapolable a otros ámbitos y problemáticas que habitualmente investigan los sociólogos.

Por este motivo, hemos huido de lo más fácil y de lo que hasta ahora se ha practicado más en la simulación social (lo cual es razonable y no lo criticamos) que no ha sido otra cosa que buscar aquellos procesos sociales más susceptibles de ser abordados mediante los recursos de simulación hasta ahora disponibles. Nuestro enfoque es diferente, es el de meterse en una problemática sociológica en toda su complejidad, y desarrollar los recursos necesarios para poder modelar informáticamente el modelo social previo, pensando que ese desarrollo de recursos, pueda servir para posteriores simulaciones sociales. Pero antes de seguir, es necesario explicar qué es una simulación y en qué se basa una simulación con agentes.

Hoy día las aplicaciones informáticas permiten elaborar modelos de sistemas sociales, y a partir de ahí simular aspectos desconocidos del sistema real que deseamos conocer. Por simulación entendemos la emulación del comportamiento de un sistema real por otro artificial, haciendo especial referencia a la posibilidad de realizar experimentos manipulando y controlando variables en un sistema artificial (construido en nuestro ordenador en este caso), el cual hemos 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 efectuemos 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.

Distinguimos dos aportaciones potenciales principales de la simulación en el campo de las ciencias sociales. 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.

Dado que la condición '*sine qua non*' para que las simulaciones funcionen es que el modelado se comporte como se espera (en analogía con la realidad, de acuerdo con

nuestro conocimiento acumulado y comprobado) centraremos nuestra atención en lo concerniente al modelado.

Un modelado informático no debe sustituir otros modelos que elaboran los especialistas de cada disciplina. Al contrario, se debe apoyar en lo posible en estos modelos previos, si existen. Tanto más eficaz resultará cuanto más elaborados y verificados estén, ya sean estos marcos teóricos o modelos explicativos inducidos a partir de observaciones empíricas, como interpretaciones cualitativas o los modelos cuantitativos basados en métodos de análisis multivariantes.

Un buen modelado informático precisa y admite todos estos inputs; datos, modelos explicativos, interpretaciones y marcos teóricos. Es decir, admite todo tipo de conocimientos de las características del sistema social real. De ahí su capacidad de integrar no solo diversas perspectivas metodológicas (cuanti / cuali) sino también teoría y empiria. Su aplicación adquiere especial sentido cuando en un determinado contexto de investigación existe una cierta abundancia de datos cuantitativos, cualitativos, observaciones longitudinales o transversales, interpretaciones, elaboraciones teóricas constatadas, etc, y queremos (y necesitamos) ir más allá de las limitaciones propias de cada fuente de datos y metodologías, en nuestro intento por mejorar la comprensión, explicación y (en lo posible) la predicción de los fenómenos estudiados. Si el conocimiento del sistema a modelar fuese pobre, los resultados también lo serían. No sería aconsejable el modelado informático en estas circunstancias. Por el contrario en situaciones de abundancia de información, estamos en condiciones de elaborar un buen modelado y simulaciones realistas.

Las aplicaciones de la simulación adquieren además especial relevancia en el estudio del 'comportamiento emergente', el que surge de las interacciones entre los individuos, y está en la base de la construcción, evolución, desestructuración o recomposición de patrones sociales que se configuran en procesos dinámicos y sistémicos. A menudo pautas de interacción relativamente sencillas dan lugar a comportamientos emergentes complejos, difíciles de deducir a partir de la simple observación directa de algunas interacciones aisladas. El comportamiento emergente de los sistemas complejos es difícil de aprehenderse a través de otros métodos convencionales de la investigación social, mientras que las simulaciones informáticas constituyen un contexto más

adecuado para dicha aprehensión. Existen buenos antecedentes de este hecho en la dinámica de sistemas. (ARACIL, J. 1986).

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. Así, tenemos los ejemplos consolidados de 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. A modo de ejemplo de estas aplicaciones pioneras pongamos los siguientes. 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 (EL HADOUAJ, DROGOUL AND ESPIÉ 2001). 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, (BURMEISTER, HADDADI & MATTILYS, 1997). También se han desarrollado en ciencias sociales simulaciones para explicar procesos económicos, como la auto-regulación del mercado (YGGE & AKKERMANS, 1995), 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 (GILBERT & TROITZSCH, 2006) u otros escenarios relacionados con la teoría de la elección racional, (IBIDEM) etc.

Existen diversos tipos de modelados y simulaciones informáticas. Nos vamos a centrar en la que consideramos que es hoy la más potente y adaptable a las características de los fenómenos sociales, la basada en los llamados ‘agentes software’ o ‘Sistemas Multi-agente’. Cada agente es una entidad software a la que se ha dotado de inteligencia artificial, con capacidades cognitivas, de interacción con su entorno y con otros agentes y de toma de decisiones autónomas. Constituye la base para modelar individuos del sistema real, es decir, seres humanos.

Los agentes son entidades software que se les ha dotado de las siguientes propiedades, al margen de las que el modelador pueda añadir según el caso concreto:

- a. *Autónomos*: toman sus propias decisiones sin intermediación del usuario.
- b. *Perceptivos/Reactivos*: reconocen otros agentes cercanos y reaccionan al nacimiento, muerte, o cambios de estos.
- c. *Iniciativa*: pueden entablar relaciones de amistad por iniciativa propia.
- d. *Adaptativos*: se adaptan a los cambios del medio.
- e. *Interacción local*: sólo tiene información de su entorno próximo (percepción subjetiva).
- f. *Capacidad de aprendizaje*: muestran capacidad de aprender de experiencias previas y resolver eficazmente situaciones nuevas a las que se enfrentan.

Un sistema multi-agente (SMA) consiste en un conjunto de entidades software autónomas (los agentes) que interactúan entre ellos y con su entorno. Autonomía se refiere a que los agentes son entes activos que pueden tomar sus propias decisiones. El paradigma de agentes permite emular artificialmente el comportamiento de sociedades de individuos humanos. Aunque nosotros, en el modelado del sistema concreto que deseamos estudiar debemos diseñar sus características específicas y las del entorno en que se mueven, cuentan con unas características ‘pre-programadas’ que hacen potencialmente posible un cierto grado de emulación del comportamiento humano. Por ejemplo, se han llevado a cabo numerosos trabajos en teoría de agentes sobre aspectos organizativos de los SMA, desarrollados para que los agentes puedan emular el comportamiento racional de los humanos insertos en estructuras organizativas. Es más, 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), (BRATMAN, M.E. 1987).

Desde esta perspectiva, en los últimos años se han desarrollado herramientas de simulación basadas en agentes para explorar la complejidad de las dinámicas sociales. Pese a ello, las posibilidades de la simulación social son todavía muy desconocidas para los científicos sociales, y apenas ha sido utilizada. Nuestro actual reto es

desarrollar un SMA que explore la utilidad de esta técnica como herramienta al servicio de la sociología; su capacidad de adaptación al análisis sociológico, su potencial, desafíos y limitaciones. Así, se está desarrollando un sistema partiendo de una problemática concreta y de un proceso social concreto, y encarando una de las temáticas que han atraído especialmente la atención de los padres fundadores de la sociología y de algunos de los más prestigiosos sociólogos actuales.

2) El modelado de la evolución de la religiosidad en España

Hemos elegido simular la evolución de la religiosidad (e irreligiosidad) católica de la sociedad española desde 1980 hasta el año 2000. La ventaja de este ejemplo es que se conoce suficientemente (a grandes rasgos) y hay información cuantificada (también cualitativa) de dicha evolución, por lo que era factible el ejercicio de introducir información de la situación en 1980 y observar si los resultados de la simulación se ajustaban a la evolución real conocida, con el objeto de validar la bondad de la herramienta en su aplicación a un proceso social más abierto y complejo que los antecedentes de simulación conocidos (y más “sociológico”).

En esta situación, como en muchas otras de la investigación sociológica actual, las teorías de la elección racional tienen poco que aportar, y en concomitancia con esto, el comportamiento de agentes basado en ‘deseos-creencias-e intenciones’ (el más elegido hasta ahora en las simulaciones sociales) tiene una capacidad limitada (insuficiente o incluso potencialmente distorsionadora, en lo que respecta a las intenciones) a la hora de predecir los comportamientos de los individuos en contextos más amplios que estructuras organizativas relativamente cerradas (empresas, organizaciones burocráticas, mercados de consumo o laborales, comportamiento en colas, o en situaciones de tráfico de automóviles o comportamiento de viandantes, etc).

Nos resultó necesario en el modelado de agentes y de su entorno imaginar mecanismos determinantes del comportamiento de agentes independientes de sus ‘intenciones vitales’ para poder simular representaciones mentales complejas como (en el caso que nos ha ocupado) los patrones de religiosidad, u otras (aunque aún no las hemos llevado a cabo, estamos reflexionando sobre cómo hacerlo) como valores, ideología política, o moralidad. Por dos motivos. Primero porque resulta inabordable formular cuales son la

metas 'vitales' de los individuos (si es que existen), y en segundo lugar porque las metas o intenciones vitales de los agentes en relación con valores, o sistemas narrativos como los discursos políticos o religiosos, son sumamente proteicos. La constante búsqueda de sentido (sentido de la vida) no se ajusta a una intención inicial e inmutable que el sujeto busca, sino que se reelabora constantemente. Nuestros objetivos vitales son en buena parte un producto de nuestra condición social y de la pura contingencia, aparecen mediados por la percepción de nosotros mismos y por las expectativas de los demás. Por otro lado, los seres humanos somos solo en parte seres racionales, y buena parte de nuestras conductas y pensamientos se rigen por esquemas emotivos o no racionales. El desarrollo futuro de los SMA aplicado a la investigación sociológica y antropológica, deberá tener mucho más en cuenta estas cuestiones, desde el planteamiento inicial de las cualidades básicas de los agentes. Digamos que hoy existe la tecnología necesaria para poder emular estos procesos de forma razonablemente exitosa, aunque aún debe ser convenientemente desarrollada.

A pesar de este inconveniente, hoy por hoy las posibilidades de simulación mediante SMA son importantes, ya que las limitaciones señaladas pueden ser sorteadas en el modelado, por ejemplo introduciendo pautas probabilísticas o semi-probabilísticas de comportamiento en función de datos disponibles. Existen también otros recursos; aplicación de lógicas borrosas, (ZADEH, 1996) etc.

En nuestro tema elegido, partimos del discernimiento de cuatro grandes patrones (o formas) de religiosidad católica, que hemos denominado: 'eclesial', 'laxa', 'alternativa' y 'no religiosa'. Los 'eclesiales' son individuos relativamente próximos a la jerarquía (Obispos y Vaticano), 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 (suelen ser católicos no practicantes que profesan una religiosidad 'a la carta', de 'ajuste existencial'). Son creyentes que confían en la Iglesia y asisten a servicios religiosos ocasionalmente o nunca (o bien también se incluye un grupo muy minoritario de practicantes semanales que no confían en la Iglesia). Los 'alternativos' son personas con fuerte identidad religiosa pero que no confían en la Iglesia y no asisten regularmente a servicios religiosos (en su inmensa mayoría siguen manteniendo su identidad católica). Por último, los 'arreligiosos' son ciudadanos que ni confían en la Iglesia ni se consideran personas religiosas,

independientemente de que crean o no en Dios (la mayoría son agnósticos o ateos, pero no todos). Sabemos que en los últimos 20 años los eclesiales han disminuido considerablemente, mientras que han aumentado los arreligiosos y los alternativos. Los laxos han oscilado aumentando en 1990 y disminuyendo luego en el 2000 alcanzando valores similares a los de 1980.

Hasta ahora hemos desarrollado un primer prototipo de simulación, muy simple, que se está implementando en los momentos en los que se escriben estas líneas. Pese a la simplicidad de nuestro primer modelo de simulación, ya se ha conseguido el objetivo básico de simular esta evolución conocida, si bien, para que la herramienta resulte adecuada para la experimentación requiere un modelado mucho más realista y detallado.

Para simular esta evolución hemos partido de las características de los españoles y de la sociedad española de 1980. Se trataba de modelar la sociedad española de entonces. Existen una serie de limitaciones importantes a la hora de modelar. Resulta imposible modelar una sociedad entera, primero por dificultades de procesamiento debidas al tamaño de la población (es un problema técnico de orden práctico pero teóricamente resoluble). Segundo, lo que es más importante, los agentes no son más que una mera representación muy simplificada del ser humano, y pueden por tanto aspirar a emular su comportamiento o pensamientos de una forma considerablemente limitada, y nunca considerando todas las dimensiones y detalles de la vida real. Debido a esto es por tanto imposible simular una sociedad en su globalidad, por lo que debemos conformarnos con una simplificación centrada en el problema o proceso social de nuestro interés. En función de este (y no de otros procesos concomitantes, quizás, incluso interrelacionados) debemos ser selectivos para tener en cuenta lo más relevante de las variables y factores relacionados con dicho proceso. Esta simplificación nos pone ante el riesgo de caer en el reduccionismo, pero es inevitable, como también ocurre con otras metodologías.

En relación a la primera limitación, hemos optado en nuestro primer modelado por crear una sociedad análoga a la española pero conformada por tan solo 500 agentes. Se trata de una primera simulación de carácter puramente exploratorio, pero que pese a su carácter 'modesto' ha dado, como decíamos, resultados satisfactorios, mejor incluso de los que esperábamos. Posteriormente, está previsto (en ello estamos trabajando en el

momento en que se escribe este ‘paper’) ir ampliando progresivamente hasta llegar al menos a 10.000 individuos.

En relación a la segunda limitación, se han seleccionado previamente sólo unas pocas (las más esenciales) de las variables intervinientes en el proceso. En primer lugar, cabe citar la que podemos tomar como variable ‘dependiente’, esto es, los diversos patrones de religiosidad explicados. En segundo lugar, se han incluido los factores o variables más relevantes para explicar y/o predecir el tipo de religiosidad de los sujetos, en función de modelos de regresión previos, y del conocimiento de las interacciones entre variables partiendo del análisis empírico de los datos de encuesta. (ARROYO MENÉNDEZ, 2004, a). Estas variables han sido las características básicas de los agentes. Sexo, edad, estudios, clase social e ideología política. Quedan aún muchas otras por incorporar, pero la lógica de las tareas de programación aconsejaban ir por etapas e ir incorporando otras variables (otras características de los agentes) de las que se conoce previamente su valor predictivo, explicativo o teórico.

Este es el caso de los valores, dado que los relacionados con la individualización social son especialmente importantes como predictores de la religiosidad y de la explicación teórica del descenso de influencia de la Iglesia sobre el individuo. También quedaron por incluir en este primer prototipo otros aspectos de interés relacionados con la estructura de interacciones de los agentes y de las influencias recíprocas (en las interacciones personales o en la audiencia de medios de comunicación) que determina el cambio de algunas de sus características (fundamentalmente nos referimos a cambios en los valores y en el patrón religioso de cada agente). Quedan por incluir también la influencia de elementos ambientales, como la evolución económica (influye en el desarrollo de los valores y estos en la evolución de la religiosidad), evolución política (también influye en ambos aspectos) o la propia evolución de las posiciones de la Iglesia, ante la cual los ciudadanos reaccionan.

Hay distintas formas para definir y distribuir las características de los agentes. Dado que nuestro interés era que la sociedad de 500 agentes fuese en sus aspectos cualitativos y cuantitativos análoga a la sociedad de 1980, hemos elegido por muestreo aleatorio simple una submuestra de la Encuesta Europea de Valores (EVS, 1980) llevada a cabo en España, y hemos asignado a los 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).

Deseamos llamar la atención sobre este procedimiento, por dos motivos. En primer lugar, utilizar una encuesta como patrón de asignación de características de sociedades de agentes simplifica al máximo 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). En segundo lugar, destacaríamos la interesante posibilidad de implementar el método de encuesta mediante simulación con SMA, con el objeto de estudiar procesos interactivos, algo imposible de hacer hoy mediante métodos cuantitativos clásicos y solo posible mediante técnicas cualitativas grupales. ¿Imaginan poder estudiar las reacciones interactivas de los sujetos entrevistados aisladamente en una encuesta, atendiendo a las múltiples características de las variables contempladas? Lo que explicamos a continuación (nuestra simulación) parte de esto, pero supone tan solo una de las múltiples aplicaciones que cabe imaginar sobre esta posibilidad que se abre. De igual modo, los resultados de análisis de redes sociales realizados mediante software especializado (Pajek, etc) también pueden utilizarse como patrón de la estructura de interacciones de una sociedad dada, siguiendo una red real. Por último otra ventaja de este procedimiento es que nos ha simplificado al máximo la descripción de las características demográficas de la sociedad española, dado que estaban implícitas en la muestra, con excepción de la programación de la reproducción (nacimientos de hijos) envejecimiento y muerte de los agentes, que han sido diseñadas siguiendo el patrón demográfico de la España real.

De modo que cada agente cuenta con atributos como: religiosidad, ideología política, sexo, edad, nivel económico y educativo. Cada variable tiene su dominio particular (rango de valores posibles). Si se sigue la perspectiva cuantitativa y se pretende apoyar el sistema con información de este tipo, conviene (aunque no es estrictamente necesario) utilizar dominios para las variables que sean equivalentes a los utilizados en los indicadores de distintos estudios y encuestas. Así pueden ajustarse convenientemente las condiciones iniciales, y comprobar resultados mucho más fácilmente. De esta forma, tendríamos, por ejemplo, a un individuo 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).

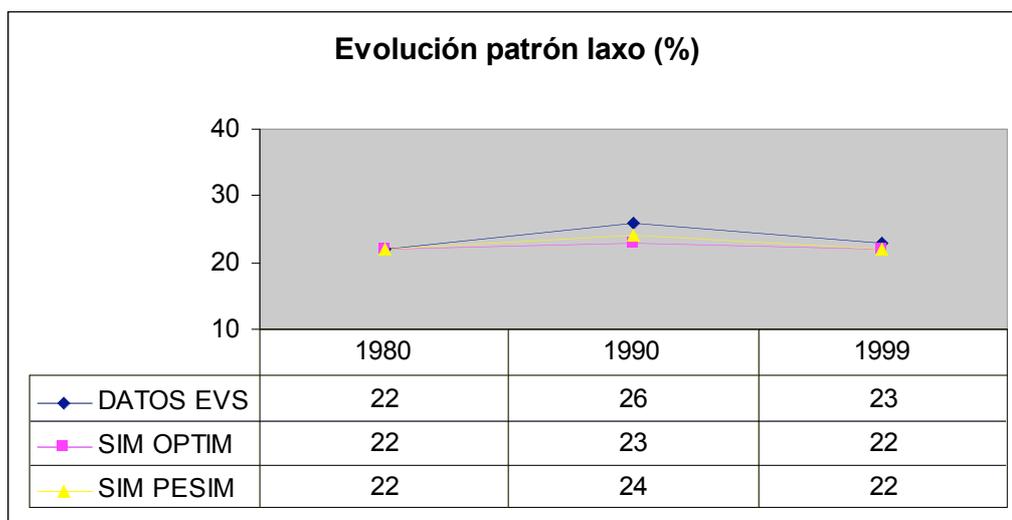
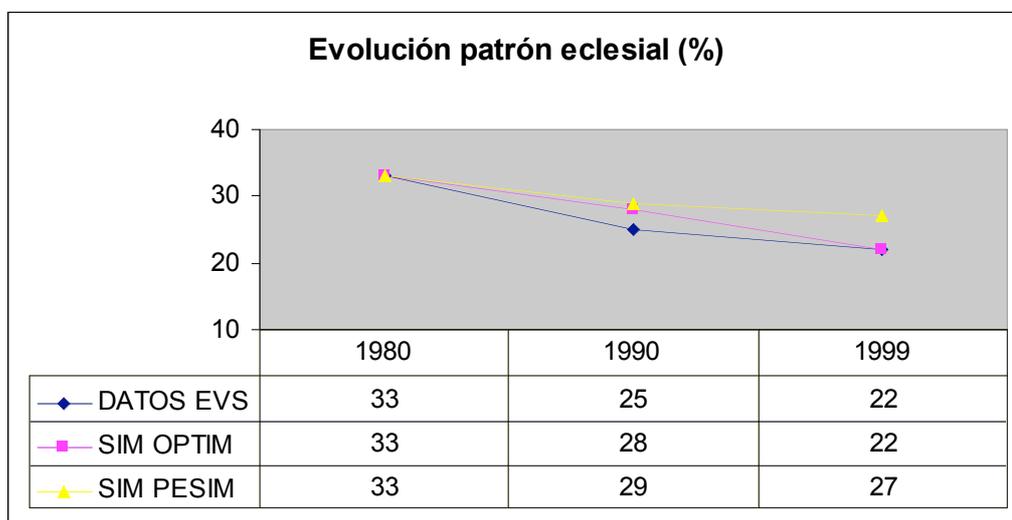
Una vez definidos los atributos de cada individuo/agente, (de momento los hemos considerado ‘características estáticas’ aunque estamos trabajando para que valores y religiosidad evolucionen en el tiempo), debe definirse sus aspectos “dinámicos”. Cada individuo está sujeto a un ciclo de vida que implica Nacer --> Crecer --> Relacionarse --> Reproducirse --> Morir. Por tanto, hay que definir procesos de reproducción, de envejecimiento, y relación mutua. Todo esto nos ha llevado a definir el *modelo demográfico* de nuestro sistema. Se hace uso de una escala temporal discreta, dividida en ‘steps’ (unidades de medida temporal, 50 steps = 1 año). La muerte se acerca con mayor probabilidad a medida que los agentes alcancen la esperanza de vida definida para 1980 (en simulaciones a largo plazo conviene introducir, en lugar de un valor, como hemos hecho, una ecuación para que esta oscile en el tiempo de acuerdo con los datos empíricos).

La reproducción (los agentes, como los españoles, tienen hijos) ha estado sujeta a otras funciones de probabilidad, de modo que al llegar a la media de la edad en la que las españolas tienen el primer hijo, se reproducen. De manera análoga se ha procedido para determinar el número de hijos. En nuestro primer prototipo se han utilizado distribuciones 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.

Tan importante como la reproducción demográfica es modelar los procesos de socialización básicos, en los que se transmiten los valores y la religiosidad a las nuevas generaciones. Esta cuestión es especialmente importante para el realismo de la simulación dado que en el sistema social real los cambios intergeneracionales se han producido con gran rapidez e intensidad, resultando estos considerablemente mayores que los intrageneracionales (no incluidos en el primer prototipo, al considerar que todas las características eran estáticas). En el primer prototipo de simulación no se ha abordado aún esta cuestión con la debida minuciosidad, aunque se ha introducido una pauta para que las características de los hijos (su religiosidad y otras distintas al sexo y la edad) las heredan de los padres.

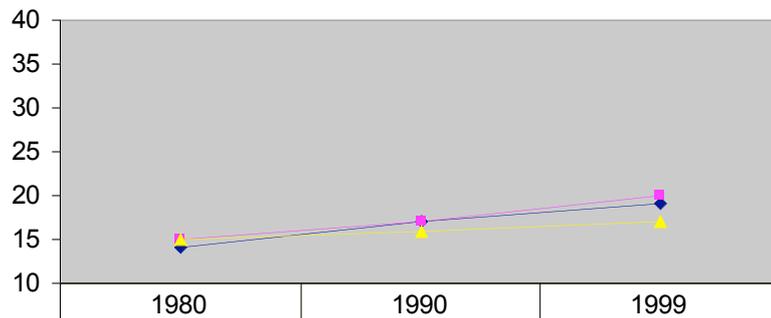
3) Los resultados obtenidos en una primera fase de modelado

Con tan solo este modelado elemental y burdo (pero necesario para dar paso a posteriores desarrollos, una vez comprobado que lo elemental 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 los que se comparan datos de encuestas de mediciones de 1980, 1990 y 1999 y los resultados de la simulación cuyo input solo tiene en cuenta la situación de España de 1980. De las diversas pruebas de simulación efectuadas (5 en total) 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).¹



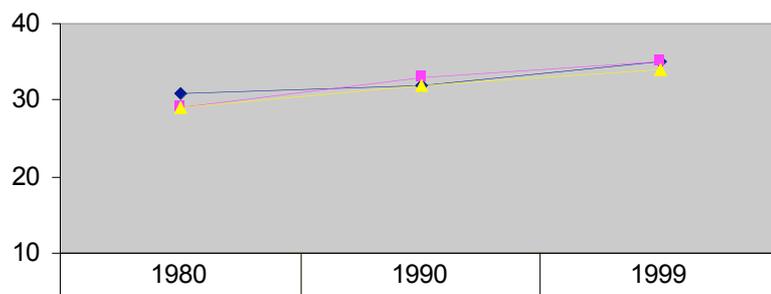
¹ Las diferencias en 1980 son debidas a que en la simulación damos los datos de la submuestra (n=500) y en ‘datos EVS’ son el total de la muestra. (Obedecen al muestreo aleatorio).

Evolución patrón relig. alternativa (%)



◆ DATOS EVS	14	17	19
■ SIM OPTIM	15	17	20
▲ SIM PESIM	15	16	17

Evolución patron no religiosos (%)



◆ DATOS EVS	31	32	35
■ SIM OPTIM	29	33	35
▲ SIM PESIM	29	32	34

Cualquiera de las simulaciones se ajustan muy bien a los datos conocidos, incluso la llamada 'pésima'. Las diferentes pruebas responden a distintas modulaciones de las interacciones de los agentes, manipulándose el tamaño del espacio y con este la intensidad de las interacciones entre agentes. El mejor ajuste corresponde a una intensidad de interacciones elevada, mientras que el peor ajuste corresponde con una intensidad más baja.

El motivo de que la simulación funcione con un modelado aún tan precario (no nos esperábamos resultados tan aceptables en este primer prototipo, el cual respondía más a requisitos de la elaboración informática que al modelado sociológico), 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 intrageneracional 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 (ARROYO MENÉNDEZ, M. 2004 b) 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.

4) Implementando el modelo: siguiente etapa, siguientes objetivos

Sin embargo, la simulación descrita presenta limitaciones que están siendo abordadas en la segunda fase del modelado, actualmente en marcha. Además de incorporar más casos (no solo 500) y más variables (actitudes, creencias, comportamientos religiosos diversos, valores y moralidad, relacionadas con el aborto, sexualidad, anticonceptivos, drogas, divorcio, etc, o variables como posición ocupacional, estado civil, etc) se están buscando soluciones para establecer la interactividad de los sujetos, y establecer las condiciones en las que pueden darse los cambios intrageneracionales, mediante instrucciones para que las características de los agentes puedan cambiar a lo largo de su vida.

Siguiendo la teoría de Inglehart estamos considerando que los individuos más jóvenes (por debajo de los 20 años) sí pueden estar probabilísticamente expuestos a bruscos

cambios de valores y de mentalidad en general (y en su religiosidad en particular) en función del entorno ambiental, pero a partir de los 20 años, no se admiten cambios bruscos sino moderados o pequeños, en función de los valores mantenidos por las personas con las que más se interacciona (asumiendo el supuesto de que los individuos en fuerte interacción tienden a aproximar sus valores y actitudes). Por otro lado, se están estableciendo pautas para evitar ciertas situaciones de ‘disonancia cognoscitiva’ que pueden generarse en proceso interactivos. Por ejemplo, dado que es improbable (aunque no imposible) que un individuo asuma una posición muy izquierdista y sea a la vez muy eclesial, se le fuerza probabilísticamente a decantarse por una de las dos opciones y en consecuencia reformular o su ideología política (que deberá suavizarse mucho convergiendo hacia la derecha) o su patrón religioso, que oscilará bien hacia el perfil ‘laxo’ o hacia una religiosidad ‘alternativa’ según el caso. De la misma manera, está previsto implementar el sistema para que si una persona se divorcia o tiene un embarazo no deseado, o vive sin casarse, etc, tenga que reformular su religiosidad, alejándose de la religiosidad eclesial, para conciliar actitudes y comportamientos, tanto ellos como las personas de su más inmediato entorno. (Se introducirían en principio aleatoriamente este tipo de sucesos, con una probabilidad proporcional a su ocurrencia real).

Al igual que ocurre con los valores en general, no se permitirá a los agentes cambiar bruscamente de patrón. (Las conversiones o desconversiones súbitas son muy infrecuentes en la vida real). Siguiendo un modelo de evolución empíricamente observado, se admiten ciertas variaciones ligeras por efecto del ciclo de vida, de manera que en el paso de la adolescencia a la juventud es frecuente que la religiosidad disminuya moderadamente. De ahí en adelante el nivel de religiosidad del sujeto muestra una tendencia a permanecer relativamente estable, o a cambiar de forma moderada y progresiva, en su alejamiento, pero también en su acercamiento al paradigma eclesial, dependiendo del entorno social y de los ajustes de mentalidad de los sujetos.

Sobre los procesos de relaciones entre agentes, se han establecido dos tipos de relaciones o grupos: amistad/afinidad por un lado y familia por otro. (Quedan aún por definir agrupaciones de trabajo y estudios y parroquias al menos, pero para crear estos grupos con cierto ‘realismo’ necesitamos un tamaño muestral muy parecido al de la sociedad real). Los agentes pueden comunicarse con otros agentes cercanos, llevando a

relaciones de amistad determinadas por su similitud, su proximidad en el espacio y/o su pertenencia a espacios de interacción comunes. Cuando se llegue a un cierto número crítico de agentes (de momento no está previsto), se podrán establecer relaciones de afinidad por centros de trabajo y/o estudios, y quizás algunas otras categorías de asociaciones, dentro de las cuales merecerá una atención especial la parroquia como espacio de interacción y socialización del catolicismo eclesial. Las relaciones de amistad (caracterizadas por una fuerte interacción) se limitan a unas pocas por agente, como ocurre en la sociedad real. Dichas relaciones de amistad heterosexuales² pueden dar lugar a relaciones de pareja estables y posteriormente a tener hijos. También pueden formar núcleos familiares, al nacer estos de acuerdo con las pautas demográficas y quedando espacialmente al lado de los padres, para asegurar un importante nudo interactivo entre padres e hijos.

En estos procesos también han de ser definidos distintos parámetros. La amistad y la pareja surgen en función de cierta similitud sociológica (nosotros la articulamos en función de valores, edad y clase social) y de la cercanía en el espacio, resultando improbable que emerja en individuos de clases sociales muy diferentes, edades muy diferentes, y también con una religiosidad e ideología política muy diferente, con valores muy diferentes, o ubicados en puntos alejados del espacio.

En el modelado se atribuye especial importancia a la influencia de la familia, es decir a la influencia de los padres sobre los hijos, dada la importancia real de la familia como transmisora de valores. Pero también tenemos previsto el modelado de otros grupos de importancia socializadora, como pueden ser los centros de trabajo o de estudios. A los hijos se les otorga una alta probabilidad de ‘heredar’ los valores y actitudes de los padres, así como de interactuar con personas de estrato socioeconómico no muy diferente, por lo que muchos de ellos serán en su adolescencia o juventud similares a sus padres y evolucionarán partiendo de esta herencia cultural, lo cual también afecta a su ‘religiosidad’.

² De momento solo se consideran las heterosexuales, por no añadir una excesiva complejidad al modelo. Lo que no impide que en el futuro se desarrolle una implementación para introducir comportamientos homosexuales, aspecto interesante si se considera que la iglesia católica se opone fuertemente a las aspiraciones de este colectivo, mientras consiguen conquistas en la medida que avanza el estado laico.

De esta forma, un determinado agente podría tener inicialmente un grupo de cinco amigos desde la infancia, dos padres y un hermano. A medida que pase el tiempo, el joven agente conocerá a más agentes (más amigos, más grupos), interaccionará con otras personas con las que coincidirá por estudios o trabajo, o en los espacios de interacción que se definan. Se casará con otro agente de sexo opuesto, que no esté casado, que sea adulto, de edad no muy diferente, de valores parecidos, etc, y tendrá probablemente n hijos (en función de la tasa de natalidad del momento en que le toca tenerlos). Llegado un momento, llegará a ser anciano y morirá.

5) Limitaciones actuales y desafíos futuros

En la fase de trabajo en la que nos encontramos, se hace evidente lo que consideramos es la principal dificultad de la aplicación de la simulación social a la sociología, que no recae sobre la vertiente informática sino sobre la sociológica, esto es, el gran desconocimiento existente de fenómenos sociales básicos, tanto por carencia de evidencias empíricas de un lado, como de otro por limitaciones de la teoría sociológica, demasiado abstracta o general como para ser útil (y precisa) en la definición de un modelo concreto. Dichas carencias dificultan mucho la formulación de modelos explicativos precisos y holísticos. Por ejemplo, en el caso que nos ocupa, apenas se sabe cómo se produce o se ha producido y en qué medida la transmisión de los valores y creencias objeto de nuestro estudio (en especial los religiosos y/o los relacionados con estos), en la familia y en otros grupos primarios, o el efecto de los medios de comunicación social. Se conoce aún muy poco (pese al creciente desarrollo actual) sobre la emergencia y estructuración de redes sociales, que permitan definir los patrones de interacciones ‘macro’ y ‘micro’ que intervienen en un proceso social concreto, así como su posible impacto en la transmisión y cambio de valores, actitudes u opiniones. Tampoco conocemos bien ni tenemos apenas datos que ayuden a modelar a nivel micro los procesos de cambio en las creencias y valores de los individuos. Estos son conocimientos básicos que no solo son aplicables a este modelo concreto sino a muchos otros de interés sociológico, como serían, procesos de cristalización y cambio de la opinión pública, actitudes y comportamientos sociopolíticos, comportamiento de consumidores, etc.

6) Utilidades y ventajas de los SMA para los sociólogos

No obstante lo anteriormente expuesto, la simulación social puede ser un buen pretexto para tomar conciencia de estas carencias y tratar de superarlas. Es decir, al margen de lo que nos permita descubrir por sí misma, al superar las barreras de la experimentación en las ciencias sociales, y mucho antes de haber llegado a tal objetivo, nos pone ante la necesidad de formular modelos explicativos mucho más formales, elaborados, documentados y sistemáticos de los que los sociólogos acostumbran.

Aunque el modelado informático es un mero instrumento al servicio del sociólogo, en nuestra opinión y experiencia ayuda mucho a pensar y formalizar el modelado sociológico. Primero por la necesidad de alcanzar una visión sistémica, holística, de un proceso social en su contexto dinámico e interactivo. Segundo, porque al requerir una mayor precisión que el lenguaje natural que en muchas ocasiones (no siempre) utiliza el sociólogo, fuerza al desarrollo de modelos explicativos más precisos y formales que los habituales, y lo que quizás sea más interesante, nos ayuda a combinar diversas explicaciones, teorías y datos, a formularnos preguntas que quizás anteriormente no nos habíamos planteado.

La propia combinación de teorías y datos, permite alcanzar una visión sociológica desde una mayor perspectiva, por ejemplo en el caso que nos ocupa estamos teniendo en cuenta (y/o pensamos tener en cuenta en próximos desarrollos) por un lado los datos empíricos de las colecciones de encuestas de valores, más informaciones provenientes de otras encuestas de religiosidad, más informaciones provenientes de estudios cualitativos, más marcos teóricos provenientes del campo de la sociología de la religión (religiosidad invisible, privatización de la religiosidad, transmisión y 'olvido' de la memoria religiosa, y cambio religioso como consecuencia del avance del proceso de modernización), más teorías sobre el cambio de valores en las sociedades industriales avanzadas, de los equipos que dirigen Ronald Inglehart (responsable de la Encuesta Mundial de valores) y Loek Halman (responsable de la Encuesta Europea de Valores), más explicaciones de dichos equipos sobre la influencia de los valores en la evolución de la religiosidad; individualización, postmodernización, etc.

Por otro lado, estamos cayendo en la cuenta, según avanzamos en nuestro trabajo, de la importancia de incorporar al modelo otras perspectivas necesarias para mejorar la emulación del proceso social que nos ocupa, principalmente aspectos relacionados con la interacción social a nivel ‘micro’ (ahí podrían entrar en juego la teoría del interaccionismo simbólico y las teorías de redes sociales) y los procesos de socialización y en concreto de los de transmisión de valores.

La combinación de datos y diversos marcos teóricos no solo se puede hacer mediante la simulación social, pues no es infrecuente que los sociólogos combinen diversas perspectivas teóricas para abordar empíricamente temáticas concretas. Pero esta tiene la ventaja adicional de que ofrece un marco para comprobar si la articulación (sociológica) que hemos desarrollado ‘funciona’, mediante las diversas pruebas de simulación que puedan establecerse en el modelo, cuando, una vez programado informáticamente, se ponen en interacción los agentes, y observamos si las reglas que hemos introducido permiten resultados análogos a los conocidos en la sociedad real.

Por otro lado, cuando no existen datos o teorías comprobadas, existe la posibilidad de modelar algún o algunos aspectos concretos en base a nuestras propias hipótesis. Esta posibilidad constituye una de las principales razones por las que un sociólogo se puede interesar por la simulación social; someter a prueba una hipótesis sin necesidad de recrear situaciones de experimentación empíricas (a menudo imposible en ciencias sociales). Cuando un modelo está suficientemente desarrollado, se puede probar a introducir un aspecto del que carecemos de información con datos o normas hipotéticas, y probar para ver si la simulación mejora o no la emulación del proceso social real, según datos conocidos. Por ejemplo, esta es la estrategia que pensamos seguir para suplir las carencias existentes sobre cómo se transmiten los procesos de socialización en valores, y las influencias recíprocas en la transmisión de los mismos en procesos interactivos (micro y a través de los ‘media’).

Una interesante variante de esta posibilidad de suplir carencias de información tiene lugar cuando contamos con una información cualitativa previa de la que desconocemos su cuantificación. Podemos, por ensayo y error, ir modificando parámetros hasta observar cual de estos produce mejores ajustes de acuerdo con los datos reales conocidos. Es decir, permite algo tan interesante como cuantificar lo cualitativo (al

menos en términos de aproximación) sin necesidad de ejecutar trabajos de campo reales. Insistimos en que esto solo arrojaría resultados realistas en el supuesto de un modelo muy desarrollado, pero la posibilidad de hacerlo está ahí.

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. (LOZARES, C. 2004).

Esta propiedad adquiere especial interés en situaciones en las que en nuestros modelos teóricos postulamos (o sospechamos), más que relaciones de causalidad unidireccionales, relaciones de intercausalidad, es decir, cuando las variables dependiente e independiente alternan sus papeles intermitentemente. Esto es muy frecuente en ciencias sociales. Concretamente en el caso que nos ocupa, podemos postular que los cambios religiosos están en función del cambio en los valores, pero también puede ser razonable postular lo contrario. Muchos politólogos al percatarse de la concomitancia entre religiosidad e ideología política han postulado modelos explicativos basados en la dependencia de las actitudes o comportamientos sociopolíticos sobre la religiosidad. Pero también es razonable postular lo contrario, si lo que pretendemos es explicar la religiosidad.

Trabajar bajo el paradigma de agentes software resuelve los problemas de establecer las direcciones de causalidad, precisamente porque no necesitamos hallar ecuaciones, y por tanto no necesitamos definir previamente cual es la variable independiente y cual es la

dependiente (a menudo la consideración es falsa o meramente aproximativa). Entendemos que existe un importante grado de retroalimentación entre religiosidad y posiciones ideológicas y es mayor aún entre religiosidad y determinadas dimensiones de los valores, a la vez que estos interactúan también con la ideología política. Lo que se produce es más bien un proceso de reajuste potencialmente multidireccional del patrón global de la mentalidad del sujeto, de manera que cuando se producen cambios en una dimensión se reajustan también otras. Por ejemplo, si un individuo influido por su microentorno se socializa en valores destacadamente ‘modernos’ tenderá a reajustar sus patrones de religiosidad e ideología política (quizás heredados de su familia) en la medida que afectan a su progresiva asimilación de valores modernos. Pero si sus convicciones religiosas son muy fuertes, ejercerán un importante freno y control en la asimilación de los valores modernos. Por lo tanto, en la simulación social basada en agentes, más que definir ecuaciones (también se puede hacer) se trata más bien de definir características y reglas de actuación basadas en dichas características, las cuales pueden ir evolucionando y cambiando en función de la peripecia vital de cada agente.

7) Nociones sobre la programación informática y su output

Una vez formulado un modelo detallado del sistema social real, se ha de programar, estructurándolo de forma que respete fielmente las especificaciones del modelo. En teoría, es el modelo el que limita el sistema, y no su implementación. Es decir, se podría programar cualquier modelo sociológico, aunque existen restricciones de carácter técnico, como las ya mencionadas relacionadas con el número de agentes, y la simplicidad de los agentes en relación con los humanos.

La implementación se ha desarrollado en el lenguaje Java y utilizando un ‘*framework*’ específico para la simulación social basada en agentes, llamado ‘Repast’, el más avanzado de todas las opciones disponibles (TOBÍAS, R. & HOFMANN, C. 2004). Repast resulta ser muy completo, proporcionando soporte para gráficas dinámicas y distribuciones probabilísticas.

Los agentes están representados gráficamente en el espacio, siendo determinante la cercanía entre ellos para poder establecer comunicación y, por ende, relaciones de algún tipo. El sexo y el momento en el ciclo de vida (joven, adulto, anciano) se representan

con colores distintos. Las relaciones de amistad son representadas por líneas amarillas y las familiares por las verdes. El sistema se ha construido de forma modular, permitiendo que sea 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.

El comportamiento del sistema global resultará tan realista y congruente como el modelo sociológico lo permita. Debido a la relativa simplicidad de los agentes, el sistema puede mantener miles de ellos, alcanzando la cantidad necesaria para observar un comportamiento emergente que resulte de las interacciones entre los individuos, llevando a la aparición de patrones sociales que pueden ser estudiados (AXELROD, R. 1997). El sistema multi-agente en acción puede verse en la Figura 1. Y para este estudio, durante y al finalizar la ejecución de la herramienta de simulación están disponibles distintos gráficos y datos que reflejan la evolución de los atributos del sistema social.

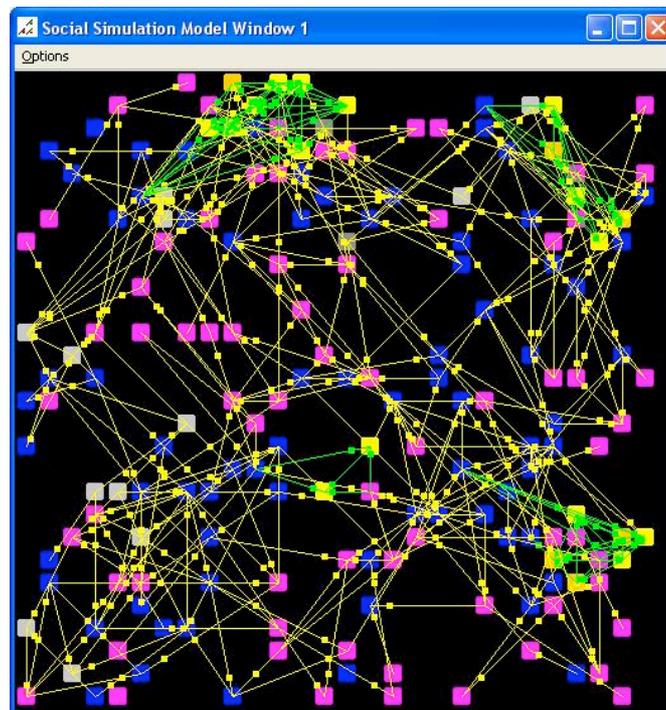


Figura 1. Captura de un ejemplo del prototipo de simulación social

Lo ideal sería que un sociólogo pudiera utilizar esta tecnología de forma autónoma, sin necesidad de conocimientos de programación, del mismo modo que realiza análisis multivariante mediante un software de análisis estadístico. Hoy por hoy (ya lo hemos dicho) es al menos imprescindible haber desarrollado habilidades de programación en java, para utilizar 'repast' con un mínimo de soltura. En el equipo de GRASIA tenemos en mente crear una plataforma de modelado en la que el sociólogo pueda especificar su modelo teórico y que esta genere automáticamente el sistema programado que sigue ese modelo. Esto significa desarrollar módulos de aplicaciones comunes a diversos modelos, susceptibles de modificación de parámetros, en función del momento y sociedad a modelar. Nuestra experiencia piloto está tratando de servir también a dicho propósito, más general.

Dicha plataforma, utilizará lenguajes gráficos de modelado de agentes adaptados al dominio de estudio sociológico. Para ello, nos basaremos en los métodos y herramientas de INGENIAS, una metodología para el desarrollo de sistemas multi-agente. (PAVÓN et alios, 2006). Esta elección se debe a que INGENIAS proporciona un conjunto de herramientas, el INGENIAS Development Kit (IDK), que facilita su aplicación para modelar, y posteriormente simular, sistemas sociales; un editor gráfico para modelar los sistemas multi-agente y unos módulos de generación de código. El editor permite utilizar el lenguaje INGENIAS o una notación similar a UML. Pero lo más interesante para la simulación social es se puede personalizar para un dominio de aplicación concreto. Esta característica permitirá crear editores especializados para ámbitos de estudios sociológicos específicos. Los módulos de generación de código 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.

BIBLIOGRAFÍA

ARACIL, J. (1986) *Introducción a la dinámica de sistemas*. Alianza Universidad Textos. Madrid.

ARROYO MENÉNDEZ, M. (2004) *Cambio Cultural y cambio religioso. Tendencias y formas de religiosidad en la España de fin de siglo*. UCM. Madrid.

ARROYO MENÉNDEZ, M. (2004b) “Hacia una espiritualidad sin Iglesia”. En *Tendencias en identidades, valores y creencias*. J.F. TEZANOS (Ed). Ed. Sistema. Madrid.

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

BRATMAN, M. E. *Intention, Plans, and Practical Reason*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.

BURMEISTER. B, HADDADI. A, & MATTILYS. G, (1997). Application of multi-agent systems in traffic and transportation. *Software ingeneering IEE Proceedings*. Vol 114. Issue 1, pp 51-60.

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.

GILBERT, N. & TROITZSCH, K.G. (2006). *Simulación para las ciencias sociales*. Mc Graw Hill. Madrid.

LOZARES, C. (2004) “La simulación social. ¿Una nueva manera de investigar en ciencia social?”. *Papers, revista de sociología* nº 72. 165-188.

PAVON, J. ARROYO, M. HASSAN, S. Y SANSORES, C. (2006). ‘Simulación de sistemas sociales con agentes software’, en *Actas del Campus Multidisciplinar en Percepcion e Inteligencia, CMPI-2006*, volumen I, 389–400.

TOBIAS, R. AND HOFMANN, C. (2004). “Evaluation of free Java-libraries for social-scientific agent based simulation”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 10.

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.

ZADEH, L.A. (2006). "Fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy systems". World Scientific
Pub CO Inc.