

Agent-based Social Simulation: General Requirements and for a Colombian Approach

Ronald Ángel

Departamento de Ingeniería de Sistemas
Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
Email: angel.r@javeriana.edu.co

Enrique González

Departamento de Ingeniería de Sistemas
Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
Email: egonzal@javeriana.edu.co

Abstract—The agent-based social simulation has become in recent decades as a useful tool to analyse and develop strategies for solving social problems. The advantages of the multi-agent approach, in conjunction with other techniques as artificial intelligence, have supported different sciences professionals to execute simulations that analyse society behaviours under different circumstances. This paper presents an analysis of the previous work generated in the field of agent-based social simulation. First, it exposes those sociological theories that have driven the use of agents and different types of models proposed. It then develops an analysis of the requirements that have the existing models and the perspectives in this field for a country like Colombia, taking into account the social work developed by the PROSOFI program in the Engineering Department of Javeriana University.

Index Terms—Intelligent systems; intelligent agents; PROSOFI; models; simulation; sociology.

I. INTRODUCCIÓN

Existen un conjunto de problemáticas que afectan a las sociedades alrededor del mundo y se manifiestan de diferentes formas en cada región del planeta. De acuerdo a reportes parciales sobre los objetivos del milenio planteados por la ONU, el avance en la consecución de dichos objetivos no es el esperado [1]. Así, el estudio de dichas problemáticas se ha convertido en un reto para investigadores de diferentes ciencias, no siendo la computación ajena a este fenómeno. En la Universidad Javeriana, por medio del programa PROSOFI de la Facultad de Ingeniería se han estado desarrollando un conjunto de estudios sobre la comunidad de Usme de la ciudad de Bogotá, en donde se han logrado caracterizar algunas situaciones sociales no deseadas [2]. Otros trabajos de este tipo se desarrollan en universidades colombianas, un ejemplo es el desarrollado por el programa “Ingenieros Sin Fronteras” de la Universidad de los Andes, en donde se han realizado trabajos en varias comunidades de bajos recursos [3]. Asimismo, está el desarrollado por el área de trabajo social de la facultad de ingeniería de la UniMinuto, en donde se ha alcanzado también un importante trabajo [4].

Los modelos de simulación social utilizando sistemas multi-agente (SMA) han estado aportando conocimiento importante en las últimas décadas para la solución de estos problemas

alrededor del mundo. Se utilizan técnicas de inteligencia artificial (IA) para construir agentes con un comportamiento inteligente, que se enfocan en la simulación de actos humanos dentro de una sociedad [5]. Este tipo de comportamiento se puede lograr por medio de la implementación de modelos basados en ciencias sociales, dotando las entidades de un comportamiento racional.

Así, este trabajo expone las perspectivas utilizadas alrededor del mundo que han aportado a la simulación social con el enfoque del paradigma de los sistemas multi-agente. Además, se identifican los criterios de evaluación necesarios que debe cumplir un sistema de simulación social basado en agentes para satisfacer globalmente los requerimientos actuales y facilitar su extensibilidad a un enfoque colombiano, en específico al área de impacto sobre la que trabaja PROSOFI.

II. TEORÍAS SOCIOLOGICAS

El estudio del comportamiento social ha sido generalmente asociado a las ciencias sociales, pero en las últimas décadas, la computación se ha convertido en un aliado de primera mano de estos estudios. Esta nueva tarea de la computación, ha causado que profesionales de ambas ciencias, trabajen en conjunto para lograr el objetivo de entender comportamientos humanos dentro de una sociedad.

Existen un conjunto de teorías basadas en las ciencias sociales como la sociología que se han enfocado en el estudio de aquellos factores humanos que regulan el comportamiento. Estas teorías han servido de base para estudios sociales, satisfaciendo la necesidad de generar modelos de simulación en los cuales las entidades presentes, posean comportamientos similares a los humanos.

Una de estas teorías, es la propuesta por Bratman [6], llamada la teoría del razonamiento práctico, mediante la cual se especifica que el comportamiento humano está basado en tres procesos principales: los deseos, las creencias y las intenciones. Estas características para Bratman son las que permiten a los humanos tomar decisiones racionales. En soluciones informáticas, este enfoque se representó por medio de la creación del modelo Belief-Desire-Intention (DBI), el cual utiliza la teoría descrita para modelar agentes que toman

decisiones inteligentes [7]. BDI, se convierte en un modelo importante en el campo de la simulación social, debido a que permite construir agentes que apoyándose en técnicas de inteligencia artificial toman decisiones racionales coherentes con una teoría sociológica clásica, proporcionando estrategias de acción más rigurosas a aquellas que están basadas en reglas básicas.

Otra teoría de importancia es la propuesta por Posner y Petersen [8], en la cual se especifica la atención como una característica principal para la toma de decisiones en humanos. Esta teoría, plantea que el comportamiento humano se ve estimulado por aquellos factores que se perciben en el entorno, afectando las acciones que se realizan en diferentes circunstancias. En informática, el concepto general de un agente está estrechamente relacionado con esta teoría, ya que un agente está en un entorno del cual dependen sus acciones. Basándose en esta teoría se han tratado de crear sistemas que simulan comportamientos humanos utilizando diferentes mecanismos de percepción del ambiente; por ejemplo, trabajos en robótica que se basan en esta teoría para construir robots que toman decisiones en diferentes ambientes [9]. Estos antecedentes hacen que esta teoría sea tenida en cuenta continuamente para el desarrollo de modelos de simulación social basados en agentes.

Por último, la teoría propuesta por Baddeley [10], propone que la memoria es un factor fundamental en la toma de decisiones humanas. Propone además, varios tipos de memoria que afectan el comportamiento y especifica en qué casos los humanos la utilizan para elegir sus acciones. Desde un punto de vista informático, esta teoría se relaciona con la capacidad de los agentes para almacenar un estado y conocer sus acciones previas para actuar de una manera coherente. Por otro lado, Baddeley ha inspirado múltiples trabajos en sistemas dinámicos en donde los diferentes estados de memoria representan diferentes situaciones de toma de decisión para las entidades; siendo un ejemplo, el trabajo de Endsley [11], donde se trabajan sistemas de toma de decisión basados en patrones históricos. Estas aplicaciones muestran la pertinencia de estudio para esta teoría en modelos de simulación social basados en agentes, en donde se poseen un conjunto de interacciones complejas que cambian con el tiempo.

El estudio de estas teorías con un enfoque informático, se ha caracterizado mediante el término “Computational Sociology”, sociología computacional en español; área de estudio que se ha convertido en una importante rama de la sociología. Esta rama se enfoca en crear métodos y teorías para analizar fenómenos sociales [12]. Debido a que los agentes se convierten en un enfoque importante para lograr los objetivos de esta área de estudio, muchos de los trabajos se orientan hacia modelar las interacciones y comportamientos de estas entidades sociales que funcionan en contextos complejos y distribuidos [13].

III. ENFOQUE DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN MODELOS DE SIMULACIÓN SOCIAL

Muchos problemas reales se presentan en contextos complejos y distribuidos, por lo que requieren sofisticados sistemas de

toma de decisión. En estos casos, la utilización de un enfoque centralizado se hace poco escalable y computacionalmente costosa. La simulación de sociedades es un problema de este tipo, en donde el manejo centralizado se hace poco viable y se evidencia cada vez con mayor fuerza el uso de sistemas de agentes que cooperan entre ellos, entregando escalabilidad y disminuyendo la complejidad a las soluciones.

Para Ferber, un agente puede ser una entidad física o virtual que actúa de manera autónoma, percibe su entorno (de forma parcial) y puede comunicarse con otros para alcanzar sus objetivos. El agente hace parte de un sistema multi-agente (SMA), está situado en un medio ambiente, y ejecuta un conjunto de acciones dependiendo de sus objetivos produciendo cambios en el entorno [14]. Los sistemas multi-agentes según González [15], pueden ser útiles para: ofrecer claridad y sencillez en el diseño; solucionar problema de naturaleza concurrente; solucionar problemas distribuidos; interconectar sistemas; encapsular inteligencia de toma de decisiones en entidades; incrementar la velocidad de ejecución, confiabilidad y extensibilidad de las soluciones.

Además de las ventajas de los agentes, los modelos de simulación como lo dice Naylor [16], permiten: facilitar procesos de investigación científica; disminuir el costo de la prueba de hipótesis; mejorar el entendimiento de un sistema; crear estrategias de acción futuras, basadas en el análisis y predecir comportamientos de un sistema. Estas posibilidades que entregan los modelos de simulación, en conjunto con la aplicación del enfoque multi-agente, permiten crear modelos que apoyan las decisiones de instituciones alrededor del mundo y facilitan tareas investigativas, de predicción u optimización.

IV. TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN SIMULACIONES SOCIALES

La inteligencia artificial tradicionalmente se ha preocupado por desarrollar técnicas que puedan reproducir algunas capacidades de toma de decisiones del ser humano, siendo utilizada en múltiples aplicaciones en donde se desean simular comportamientos reales en personas [17]. Esta utilidad es uno de los objetivos que buscan los modelos de simulación social, por lo que las técnicas de inteligencia artificial se están convirtiendo en una herramienta esencial para lograr la simulación de comportamientos sociales. Actualmente, algunos enfoques de inteligencia artificial exponen la idea de que la inteligencia surge tanto de las células y órganos, como de sociedades que evolucionan y aprenden. Por esta razón, los nuevos enfoques se inspiran en una gama más amplia de estructuras biológicas que son capaces de tener auto-organización. Ejemplos de estos nuevos enfoques incluyen la computación evolutiva y el hardware evolutivo, las redes neuronales artificiales, los sistemas inmunológicos, los biorobots, y la inteligencia del enjambre (SWARM), por mencionar sólo algunos [18].

Estos nuevos enfoques muestran que los trabajos actuales se enfocan en la simulación de comportamientos colectivos de un conjunto de entidades que interactúan entre sí. Como apoyo a estos enfoques, los sistemas multi-agente permiten disminuir la complejidad de estas interacciones, por lo que

se han creado modelos que utilizan técnicas de inteligencia artificial para lograr construir agentes con mecanismos de toma de decisiones cercanas a las que poseen los humanos. Un ejemplo de este tipo de modelos es el ya descrito, modelo BDI. Una aplicación de este tipo es la propuesta por Wallace, en donde se plantea la arquitectura Expectation - Strategy - Behavior (ESB) [19], que se basa en BDI para construir un modelo de toma de decisión para agentes que ejecutan estrategias sociales; basándose en técnicas de inteligencia artificial y máquinas de estados.

Sin embargo, esta área aún se encuentra en desarrollo, por lo que los nuevos enfoques tratan de aplicar técnicas de inteligencia artificial cada vez más novedosas para lograr simulaciones sociales coherentes con la realidad.

V. MODELOS QUE UTILIZAN AGENTES

Como ya se especificó anteriormente, los agentes son un enfoque adecuado para simular el comportamiento de humanos dentro de una sociedad. El dinamismo proporcionado por los agentes permite caracterizar entidades con un comportamiento similar al de los humanos, convirtiéndolo en el enfoque más natural para simularlos [20]. Pero no todos los modelos de simulación social basados en agentes tienen las mismas características; existen unos enfocados en la simulación gráfica de las entidades y otros enfocados en el estudio de la simulación de comportamientos reales y sus efectos sobre la comunidad simulada.

A. Modelos que se enfocan en modelamiento gráfico

Este tipo de modelos se enfocan en simular gráficamente como se visualizan las entidades en entornos sociales. A continuación se exponen algunos trabajos que fueron realizados con este enfoque, mostrando sus principales características y su aporte al avance de la simulación social.

ViCrowd [21], es un modelo jerárquico basado en agentes que permite simular gráficamente la organización de sociedades con un alto número de entidades, teniendo en cuenta estructuras sociales como la familia y organización en grupos. Un factor a tener en cuenta de este modelo es su capacidad de caracterizar estructuras jerárquicas en una sociedad, característica que está presente en muy pocos modelos. Por otro lado, se debe tener en cuenta como una limitante, que este modelo se enfoca en la simulación gráfica de los comportamientos de los agentes más allá del estudio de cómo sus comportamientos generan efectos sobre el conjunto de entidades basándose en un comportamiento real humano. Aunque los usuarios pueden generar nuevos comportamientos sobre las entidades, estos deben ser creados por medio de scripts que reducen su alcance a movimientos basados en una máquina de estados entre las cuales existen algunas reglas predefinidas.

Massive [22], es un modelo de simulación de sociedades que se ha transformado en un software comercial y ha logrado animaciones gráficas de gran calidad para la industria del entretenimiento en casos de películas (como el Señor de los Anillos) o videojuegos (como Age of Empires) [23]. El aporte de su aplicación a la simulación gráfica de un número alto de

entidades es significativo, pero al igual que ViCrowd se enfoca en la simulación gráfica y no en el estudio del comportamiento de agentes dentro de una sociedad.

SICOSSYS [24] planteado por López, se basa en la metodología INGENIAS para extender funcionalidades que faciliten el desarrollo de simulaciones sociales de manera gráfica, con el fin de que los usuarios finales no sean solo expertos en computación, sino expertos en ciencias sociales. Permitir el modelamiento gráfico hace novedosa esta herramienta y muestra que las simulaciones sociales son utilizadas de manera interdisciplinaria. Por otro lado, los comportamientos sociales que permite modelar son muy generales y las técnicas de toma de decisión que utilizan los agentes no son muy avanzadas.

En general, este tipo de modelos poseen ventajas en cuanto a su capacidad de simular gráficamente comportamientos sociales, por lo que son comúnmente aplicados en la industria cinematográfica. Las desventajas de estos modelos, están presentes en las limitaciones que poseen para simular comportamientos humanos reales, basándose en las interacciones de unos humanos con otros. Estas limitantes, no hacen que este tipo de modelos sean menos importantes para el área de estudio, ya que estas características visuales podrían complementar otros modelos donde el enfoque principal sea el estudio de los comportamientos sociales de las entidades.

B. Modelos que se enfocan en estudio del comportamiento

Los modelos de agentes enfocados en el comportamiento son aquellos donde los agentes poseen un comportamiento que se acerca al de entidades reales. Existen varios tipos de modelos, unos enfocados en el estudio de movimientos y evacuaciones de agentes que pueden ser catalogados como modelos generales de simulación; otros, enfocados en temas específicos que en este artículo son llamados modelos específicos de simulación, y por último algunos modelos creados recientemente que han tratado de servir como puente entre aquellos modelos que se enfocan en el estudio de comportamientos de evacuación y las teorías sociológicas discutidas anteriormente. Este tipo de modelos se catalogan como modelos puente. Puesto que este artículo desea mostrar la necesidad de aplicación de este tipo de modelos en un contexto colombiano, se agrega una cuarta categoría en la cual se exponen trabajos de este país y se analizan las necesidades existentes para esta área de estudio.

1) *Modelos generales*: Este tipo de modelos son muy útiles para simular el comportamiento de agentes en situaciones de emergencia enfocándose en patrones de movimiento. A continuación, se expondrán un conjunto de modelos que se han creado con este objetivo.

El primer modelo referente, se puede decir que es SugarScape [25], un modelo que está enfocado en la caracterización del comportamiento de agentes que debido a un conjunto de reglas se mueven de un lugar a otro. Además de este enfoque, SugarScape modela agentes con habilidades sociales como la comunicación para realizar tareas cooperativas. Este modelo es de gran importancia porque abre el campo al estudio de agentes peatones y sus comportamientos sobre un

terreno. Una limitante de este modelo se encuentra en que los comportamientos emergentes que pueden desarrollar los agentes están basados en reglas muy básicas, así como las estructuras grupales de los agentes. Esta característica hace que se dejen de lado muchas habilidades sociales de los agentes como la diferencia entre las creencias y los deseos que poseen diferentes entidades para tomar decisiones coherentes.

Posteriormente, aparecen modelos como el de Helbing [26]. Este modelo está basado en agentes con un mapa mental que posee algunas reglas representadas en factores físicos, sociales y psicológicos que estimulan el movimiento. La construcción de un mapa mental que restrinja los movimientos de los agentes se convierte en un aporte importante debido a que se está tratando de simular el comportamiento de la mente humana. Un modelo con características similares, es el propuesto por Hughes [27]. Este modelo se enfoca en simular el movimiento de gran cantidad de agentes en un lugar, basándose en factores físicos. La diferencia de este modelo y quizás su aporte más importante se encuentra en que la cantidad de agentes que permite simular es alta. Pero se debe tener en cuenta que este modelo no tiene en cuenta tampoco importantes factores sociales que ocurren dentro de la sociedad y se enfoca principalmente en el movimiento de las entidades.

Por último, el modelo propuesto por Arentze [28] propone una arquitectura que permite observar el comportamiento cronológico de las actividades de los agentes en la simulación. Esta característica entrega un nuevo factor importante que es la capacidad de la simulación de los comportamientos en diferentes momentos para los agentes. Sin embargo, estos comportamientos generados cronológicamente están solo enfocados en cómo se transportarían los agentes en diferentes circunstancias y no tiene en cuenta otro tipo de patrones.

Como se puede ver, el comportamiento de este tipo de modelos es general, razón por la cual, se dejan de lado muchos factores importantes a tener en cuenta para lograr simulaciones sociales cuyos comportamientos sean cercanos a los que se generan en comunidades reales. Estas limitantes muestran la necesidad de incluir técnicas de inteligencia artificial que se basen en teorías sociológicas, con el fin modelar agentes que actúen de una forma coherente y se basen en estudios rigurosos sobre el comportamiento humano.

2) *Modelos Específicos:* Algunos modelos se han desarrollado para ser aplicados en contextos muy particulares. El estudio de estos modelos puede entregar información importante para la construcción de meta modelos mucho más completos y funcionales. Algunos ejemplos se exponen a continuación.

En un contexto económico encontramos el modelo planteado por Kluger [29], en el cual los agentes se coordinan para encontrar equilibrios de liquidez monetaria. Para lograrlo, se crea una microestructura económica en la cual dependiendo del grado de cooperación, competencia y aprendizaje, los agentes toman decisiones racionales. Otro ejemplo de modelos en el contexto económico, es el de Walter [30], en el cual se simula el mercado eléctrico basándose en reglas económicas.

En un contexto educativo ALASKA, propuesto por Hamilton [31], es un modelo a tener en cuenta, debido a sus caracte-

terísticas de toma de decisión inteligente utilizando árboles de conocimiento para hacer más efectivos los procesos de aprendizaje. De igual forma, el modelo de Ricci [32] permite modelar agentes en contextos colaborativos de aprendizaje.

En un contexto humanitario, el desarrollado por Yang [33], permite simular la propagación de enfermedades, por medio de agentes que simulan la transmisión de infecciones y se coordinan para actuar. Así mismo, lo hace el modelo de Nunn [34] con el estudio de transmisión de parásitos.

Estos modelos al representar contextos muy específicos, se hacen muy limitados en otros contextos de simulación social; sin embargo, sus características deben ser estudiadas con el fin de construir modelos escalables para contextos sociales más amplios. Estas características particulares, deben apoyar modelos más generales como los analizados en el punto anterior de este trabajo.

3) *Modelos Puente:* Algunos modelos de simulación creados recientemente han tratado de realizar un puente entre los modelos de simulación generales descritos anteriormente y las teorías sociológicas también descritas. Algunas de estos modelos se describen a continuación.

El modelo planteado por Ficici [35] muestra un acercamiento de cómo aplicar el modelo BDI en contextos competitivos con el fin de resolver conflictos entre competidores. Este modelo muestra que BDI puede mejorar la coherencia en la toma de decisiones de los agentes. El trabajo es limitado a este análisis por lo que no se enfoca en el desarrollo de simulaciones sociales complejas. El modelo planteado por Koh [36] intenta funcionar como puente entre modelos como ViCrowd y las teorías de Bratman, Posner y Baddeley. Este modelo se hace interesante debido a que la toma de decisiones en los agentes se base en modelos que representan el comportamiento humano. Como limitantes se puede decir que solo se enfoca en el movimiento de peatones y no en otras circunstancias sociales más complejas. Otra limitante es que la toma de decisiones se basa solo en reglas físicas y no por ejemplo en técnicas de inteligencia artificial para alcanzar comportamientos inteligentes.

De esta misma manera, el modelo propuesto por Okaya [37] aplica el modelo BDI en las interacciones entre las entidades y se basa en la simulación de fuerzas físicas planteadas por Helbing para lograr la simulación de evacuaciones en peatones. El híbrido entre estos dos modelos entrega una interesante aproximación hacia trabajos futuros, pero al igual que el modelo de Koh, solo simula situaciones sociales de peatones en evacuación y la toma de decisiones para los agentes está basada en reglas básicas.

Los modelos de este tipo, muestran que recientemente en el mundo se ha identificado la necesidad de apoyar la toma de decisiones en modelos de simulación social con teorías sociológicas. Además, abren un nuevo campo de estudio, sobre el cual se hace interesante trabajar para lograr nuevos resultados que aporten a las ciencias de la computación. Una limitante de los modelos de este tipo que se han creado hasta ahora, es que las técnicas de toma de decisión son muy limitadas, lo que muestra la necesidad de aplicar técnicas basadas en

inteligencia artificial para lograr mejores resultados.

4) *Aplicaciones desde Colombia*: Los modelos generales en muchas ocasiones no son compatibles con las características de contextos específicos. Esta restricción abre paso al concepto de “modelos del contexto”, que son aquellos que sirven para tener representación más o menos adecuada y relevante de un entorno específico [38]. La construcción de este tipo de modelos es necesaria para garantizar la aplicabilidad a situaciones particulares de un contexto como el colombiano. Esta necesidad, se da porque los modelos de simulación social que se aplican en Colombia deben tener en cuenta un conjunto de variables estructurales y de interacciones particulares que solo el análisis específico de este contexto puede entregar.

En Colombia, trabajos en el campo de la simulación social basándose en agentes son muy pocos, por lo que en muchos casos se utilizan modelos generales para desarrollar análisis en contextos colombianos. Estos análisis debido a la falta de contextualización de los modelos pierden precisión. Unos de los pocos trabajos que contextualizan las simulaciones a un contexto colombiano, son, el desarrollo por un grupo de investigación en la universidad de los Andes, en el cual las simulación se enfocan en comportamientos dentro del conflicto armado, utilizando teorías físicas y sistemas complejos [39]. Estas tareas se desarrollan en el marco del trabajo del grupo CERAC. Otro, el desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia por el grupo de investigación en simulación de empresas y economía evolucionista [40], donde se han aportado conceptos importantes en esta área. Sin embargo, aún no se desarrollan trabajos enfocados en simulaciones sociales para problemáticas colombianas generales en donde los agentes toman decisiones de manera coherente. Esto permite concluir que en Colombia esta es un área aun sin explorar y en la cual se pueden encontrar oportunidades hacia el futuro.

VI. COMPARATIVO ENTRE MODELOS

Para analizar las ventajas de forma comparativa de cada uno de los modelos expuestos anteriormente, se desarrolla una comparación basada en los siguientes criterios. Los posibles valores cualitativos y cuantitativos entre 0 y 3, que puede tomar los criterios en general son: Alto(A) (2,5 - 3) , Medio Alto (MA) (2- 2,5), Medio (M) (1,5 - 2) y Bajo (B) (0 - 1,5).

- 1) Enfoque gráfico:criterio que expone la calidad gráfica con que el modelo permite realizar las simulaciones: En muchas de las simulaciones es importante que el usuario final pueda entender los flujos simulados y validar los resultados.
- 2) Enfoque en comportamiento social: criterio que expone la capacidad del modelo de construir agentes que posean habilidades sociales. Es importante tener en cuenta que para este criterio se evalúan sub-criterios como:
 - a) Tipo de estructuras sociales: Estructuras sociales generales y específicas que tiene en cuenta el modelo.
 - b) Tipos de interacciones: Tipos de interacciones sociales reales que tiene en cuenta el modelo.

c) Capacidades sociales individuales: Capacidad individual de los agentes para soportar decisiones, teniendo en cuenta estructuras e interacciones.

- 3) Patrones de teorías sociológicas: criterio que evalúa la capacidad del modelo para incluir en la toma de decisión de las entidades, patrones de teorías sociológicas existentes. Se debe tener en cuenta este criterio, debido a que es de suma importancia que los modelos estén guiados a construir agentes que tomen decisiones cercanas a las que toman humanos reales.
- 4) Toma de decisiones inteligentes: criterio que evalúa la capacidad del modelo de incluir toma de decisiones en los agentes que estén basadas en técnicas de inteligencia artificial. Este criterio es importante, debido a que estas técnicas son las que permiten acercar las decisiones de agentes y humanos reales.
- 5) Aplicabilidad en un contexto colombiano: criterio que muestra la capacidad de aplicar el modelo en un contexto tan particular como el colombiano, teniendo en cuenta las estructuras e interacciones complejas existentes en este país. Con este criterio se pretende ver si es posible utilizar un modelo actual para realizar simulaciones sociales en Colombia.

Table I
COMPARATIVO ENTRE MODELOS (CRITERIOS 1-5)

MODELO	TIPO DE MODELO	1	2	3	4	5
ViCrowd	Gráfico	MA	M	B	B	B
Massive	Gráfico	A	B	B	M	B
SICOSSYS	Gráfico	A	M	M	B	B
SugarScape	Social General	B	MA	M	B	B
Helbing	Social General	B	MA	M	B	B
Hughes	Social General	B	MA	M	B	B
Arentze	Social General	B	MA	MA	B	B
Ficici	Social Puente	B	MA	MA	M	B
Koh	Social Puente	B	MA	MA	M	B
Okaya	Social Puente	B	MA	MA	M	B

La tabla 1, muestra que ningún modelo cumple de manera correcta con cada criterio y se evidencian posibilidades de investigación enfocadas en la creación de modelos de simulación social que cumplan con estos criterios de manera coherente.

VII. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Como se puede ver en el análisis desarrollado en este artículo, los modelos de simulación social basados en agentes actuales generalmente poseen, un nivel de abstracción macro en el cual solo se tienen en cuenta consideraciones generales de las sociedades o son enfocados en un problema específico. En pocos modelos se simulan habilidades sociales desarrolladas por las entidades enfocándose en teorías sociológicas. Aquellos que aplican algún comportamiento emergente sobre los agentes presentes en la simulación lo hacen basándose en un sistema de reglas reactivas [5], y no en un enfoque basado en técnicas de inteligencia artificial para lograr la simulación de comportamientos inteligentes como los descritos en modelos como BDI.

Otra característica encontrada, es que no existen modelos que consideren las características micro sociales y macro sociales de una sociedad tan particular como la colombiana. Tener en cuenta estas consideraciones es un reto para el área de los sistemas inteligentes en Colombia. Se evidencia la necesidad de desarrollar modelos que faciliten y agilicen la ejecución de simulaciones basándose en características globales y asegurando su extensibilidad en un contexto local.

Como conclusión final al análisis de los trabajos existentes, se puede asegurar que los sistemas multi-agente, apoyándose en técnicas de inteligencia artificial para simular la toma de decisiones descritas en teorías sociológicas como la del razonamiento práctico; muestran ser un enfoque interesante y útil para satisfacer las necesidades de simulación social que aún no satisfacen los modelos existentes. BDI es un modelo de este tipo, y encontrar su aplicación en un contexto colombiano, como aquel existente en el área de impacto de PROSOFI, puede llevarnos a un modelo que obtenga una calificación Alto en cada uno de los criterios de la tabla 1.

REFERENCES

- [1] ONU, «The Millennium Development Goals Report 2011», New York, UN, 2011.
- [2] P. M. SALAZAR, «Un programa social que da pasos firmes en Usme», hoy en la javeriana, vol. Marzo, 2011.
- [3] U. D. L. ANDES, «ISF - Ingenieros sin fronteras Colombia», 2010.
- [4] C. D. BOGOTÁ, «Reconocimiento a Uniminuto», 2008.
- [5] K. G. Troitzsch, «Perspectives and challenges of agent-based simulation as a tool for economics and other social sciences», in Proceedings of The 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 1, Richland, SC, 2009, pp. 35–42. M. E. Bratman, Intention, Plans, and Practical Reason. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.
- [6] M. E. Bratman, Intention, Plans, and Practical Reason. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.
- [7] A. S. Rao y M. P. Georgeff, «BDI Agents: From Theory to Practice», in IN PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI-AGENT SYSTEMS (ICMAS-95), 1995, pp. 312–319.
- [8] M. I. Posner y S. E. Petersen, «The Attention System of the Human Brain», Annual Review of Neuroscience, vol. 13, no. 1, pp. 25–42, 1990.
- [9] M. Begum y F. Karray, «Visual Attention for Robotic Cognition: A Survey», IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, vol. 3, no. 1, pp. 92–105, 2011.
- [10] A. D. Baddeley, Human memory: theory and practice. Boston: Allyn and Bacon, 1990.
- [11] M. R. Endsley, «Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems», Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol. 37, pp. 32–64, mar. 1995.
- [12] M. W. Macy y R. Willer, «FROM FACTORS TO ACTORS: Computational Sociology and Agent-Based Modeling», Annual Review of Sociology, vol. 28, no. 1, pp. 143–166, 2002.
- [13] K. G. Troitzsch, «Computer Simulation and Social Sciences: On the Future of a Difficult Relation», in Social Science Microsimulation, 1995, pp. 459–460.
- [14] J. Ferber, Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison-Wesley Professional, 1999.
- [15] E. GONZALES y C. BUSTACARA, Desarrollo de Aplicaciones basadas en Sistemas Multiagentes. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2006.
- [16] T. H. Naylor, M. Sunderland, y L. Karp, Técnicas de simulación en computadoras. Limusa, 1971.
- [17] D. Floreano y C. Mattiussi, Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies. Cambridge, MA: MIT Press, 2008.
- [18] T. M. Mitchell, «Artificial intelligence and human brain imaging», in Proceedings of the 16th Canadian society for computational studies of intelligence conference on Advances in artificial intelligence, Berlin, Heidelberg, 2003, pp. 7–7.
- [19] I. Wallace y M. Rovatsos, «Bounded practical social reasoning in the ESB framework», in Proceedings of The 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 2, Richland, SC, 2009, pp. 1097–1104.
- [20] S. Zhou, D. Chen, W. Cai, L. Luo, M. Y. H. Low, F. Tian, V. S.-H. Tay, D. W. S. Ong, y B. D. Hamilton, «Crowd modeling and simulation technologies», ACM Trans. Model. Comput. Simul., vol. 20, no. 4, pp. 20:1–20:35, nov. 2010.
- [21] S. R. Musse y D. Thalmann, «Hierarchical Model for Real Time Simulation of Virtual Human Crowds», IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 7, no. 2, pp. 152–164, abr. 2001
- [22] MASSIVE, «Simulating Life», <http://www.massivesoftware.com>, Massive Software, 2009.
- [23] Y. Wang, M. Lees, W. Cai, S. Zhou, y M. Y. H. Low, «Cluster based partitioning for agent-based crowd simulations», in Winter Simulation Conference, 2009, pp. 1047–1058.
- [24] López-Paredes, «Agent Based Simulation for the Study of Complex Social Systems», Group, vol. 9, no. 1, pp. 22–28, 2009.
- [25] J. M. Epstein y R. L. Axtell, Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up. The MIT Press, 1996.
- [26] D. Helbing, I. Farkas, y T. Vicsek, «Simulating Dynamical Features of Escape Panic», Nature, vol. 407, pp. 487–490, sep. 2000.
- [27] R. L. Hughes, «THE FLOW OF HUMAN CROWDS», Annual Review of Fluid Mechanics, vol. 35, no. 1, pp. 169–182, 2003.
- [28] T. A. Arentze y H. J. P. Timmermans, «A need-based model of multi-day, multi-person activity generation», Transportation Research Part B: Methodological, vol. 43, no. 2, pp. 251 – 265, 2009.
- [29] B. D. Kluger y M. E. McBride, «Intraday trading patterns in an intelligent autonomous agent-based stock market», Journal of Economic Behavior Organization, vol. 79, no. 3, pp. 226 –245, 2011.
- [30] I. Walter y F. Gomide, «Electricity market simulation: multiagent system approach», in Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing, New York, NY, USA, 2008, pp. 34–38.
- [31] E. R. Hamilton, «Agent and library augmented shared knowledge areas (ALASKA)», in Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces, New York, NY, USA, 2004, pp. 317–318.
- [32] A. Ricci, M. Viroli, y A. Omicini, «Give agents their artifacts: the A&A approach for engineering working environments in MAS», in Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, New York, NY, USA, 2007, pp. 150:1–150:3.
- [33] Y. Yang y P. M. Atkinson, «Analysis of CDC social control measures using an agent-based simulation of an influenza epidemic in a city», BMC Infectious Diseases, vol. 11, no. 199, jul. 2011.
- [34] C. L. Nunn, P. H. Thrall, F. H. Leendertz, y C. Boesch, «The Spread of Fecally Transmitted Parasites in Socially-Structured Populations», PLoS ONE, vol. 6, no. 6, p. e21677, 2011.
- [35] S. G. Fici y A. Pfeffer, «Simultaneously modeling humans' preferences and their beliefs about others' preferences», in Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems - Volume 1, Richland, SC, 2008, pp. 323–330.
- [36] W. L. Koh y S. Zhou, «Modeling and simulation of pedestrian behaviors in crowded places», ACM Trans. Model. Comput. Simul., vol. 21, no. 3, pp. 20:1–20:23, feb. 2011.
- [37] M. Okaya y T. Takahashi, «BDI agent model based evacuation simulation», in The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 3, Richland, SC, 2011, pp. 1297–1298.
- [38] T. A. van Dijk, «Algunos principios de una teoría del contexto», ALED, Revista latinoamericana de estudios del discurso, pp. 69–81, 2001.
- [39] Z. Zhao, J. C. Bohorquez, A. Dixon, y N. F. Johnson, «Anomalous Slow Attrition Times for Asymmetric Populations with Internal Group Dynamics», Physical Review Letters, vol. 103, no. 14, p. 148701+, oct. 2009.
- [40] I. Hernandez y P. Dewick, «An institutional approach to evolutionary growth modelling», globelics Africa, 2005.