

EMERGENCIA SOCIAL EN SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEJOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DESDE LA SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES

Social emergence in complex adaptive systems: a systematic review using agent-based simulation

Emergência social em sistemas adaptativos complexos: uma revisão sistemática usando simulação baseada em agentes

Alenna Rosa Batista-Barallobre *, <https://orcid.org/0009-0003-9060-0690>

Universidade Beira Interior Covilhã, Portugal

*Autor para correspondencia. email alenna.batista.barallobre@ubi.pt

Para citar este artículo: Batista-Barallobre, A. R. (2025). Emergencia social en sistemas adaptativos complejos: una revisión sistemática desde la simulación basada en agentes. *Maestro y Sociedad*, 22(3), 2232-2245. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu>

RESUMEN

Introducción: La emergencia social es un fenómeno central para comprender la dinámica y organización de las sociedades contemporáneas, especialmente cuando se estudian bajo la lente de los sistemas adaptativos complejos. **Objetivo:** Analizar críticamente los mecanismos de emergencia social en sistemas adaptativos complejos mediante modelos basados en agentes, evaluando su capacidad para explicar fenómenos no lineales. **Materiales y Métodos:** Revisión sistemática PRISMA de 66 estudios (2010-2025) en Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc y arXiv. **Resultados:** La emergencia social surge de reglas locales simples que generan patrones globales impredecibles (segregación, normas sociales). **Discusión:** Los MBA validan teóricamente la autoorganización en SAC, pero enfrentan limitaciones predictivas y reduccionistas. Casos como el modelo de Schelling demuestran su utilidad heurística. **Conclusiones:** Los MBA son herramientas valiosas para explorar la complejidad social, pero requieren integración con enfoques cualitativos y avances en IA para superar desafíos epistemológicos.

Palabras clave: Emergencia social, Sistemas Adaptativos Complejos, simulación basada en agentes, autoorganización, modelos no lineales.

ABSTRACT

Introduction: Social emergence is a central phenomenon for understanding the dynamics and organization of contemporary societies, especially when studied through the lens of complex adaptive systems. **Objective:** To critically analyze the mechanisms of social emergence in complex adaptive systems using agent-based models, assessing their ability to explain nonlinear phenomena. **Materials and Methods:** A PRISMA systematic review of 66 studies (2010–2025) in Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc, and arXiv. **Results:** Social emergence arises from simple local rules that generate unpredictable global patterns (segregation, social norms). **Discussion:** ABMs theoretically validate self-organization in complex adaptive systems, but face predictive and reductionist limitations. Cases such as Schelling's model demonstrate their heuristic usefulness. **Conclusions:** ABMs are valuable tools for exploring social complexity, but require integration with qualitative approaches and advances in AI to overcome epistemological challenges.

Keywords: Social emergency, Complex Adaptive Systems, agent-based simulation, self-organization, nonlinear models.

RESUMO

Introdução: A emergência social é um fenômeno central para a compreensão da dinâmica e da organização das sociedades contemporâneas, especialmente quando estudada pela lente de sistemas adaptativos complexos. **Objetivo:** Analisar criticamente os mecanismos de emergência social em sistemas adaptativos complexos usando modelos baseados em agentes, avaliando sua capacidade de explicar fenômenos não lineares. **Materiais e Métodos:** Uma revisão sistemática PRISMA de 66 estudos (2010–2025) em Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc e arXiv. **Resultados:** A emergência social surge de regras locais simples que geram padrões globais imprevisíveis (segregação, normas sociais). **Discussão:**

ABMs validam teoricamente a auto-organização em sistemas adaptativos complexos, mas enfrentam limitações preditivas e reducionistas. Casos como o modelo de Schelling demonstram sua utilidade heurística. Conclusões: ABMs são ferramentas valiosas para explorar a complexidade social, mas requerem integração com abordagens qualitativas e avanços em IA para superar desafios epistemológicos.

Palavras-chave: Emergência social, Sistemas Adaptativos Complexos, simulação baseada em agentes, auto-organização, modelos não lineares.

Recibido: 15/4/2025 Aprobado: 2/7/2025

INTRODUCCIÓN

La emergencia social es un fenómeno central para comprender la dinámica y organización de las sociedades contemporáneas, especialmente cuando se estudian bajo la lente de los sistemas adaptativos complejos (SAC). Estos sistemas se caracterizan por estar formados por múltiples agentes que interactúan localmente y cuya conducta conjunta da lugar a patrones globales y propiedades emergentes que no pueden ser previstas únicamente analizando las partes por separado. La relevancia de este enfoque radica en que aporta un marco teórico y metodológico para estudiar fenómenos sociales que exhiben una alta complejidad, no linealidad y dinámica evolutiva, características comunes en escenarios urbanos, comunitarios y organizacionales.

El origen filosófico de la emergencia social puede rastrearse hasta la antigua Grecia, en particular al pensamiento de Heráclito, quien propuso la idea del cambio constante en la realidad como un principio fundamental. Su famoso aforismo "panta rhei" (todo fluye) sugiere que la naturaleza de los fenómenos no es estática sino dinámica y en continuo devenir. Esta perspectiva aporta una visión dialéctica de la realidad, en contraposición con las posturas reduccionistas iniciadas con Descartes en el siglo XVII. El pensamiento cartesiano estableció las bases de la ciencia moderna con su énfasis en la fragmentación y análisis mecánico de los sistemas, buscando explicar la complejidad mediante la descomposición en sus elementos más simples (García-Valdecasas, 2011).

Un cambio paradigmático en el pensamiento científico se consolida con la Teoría General de Sistemas propuesta por Ludwig von Bertalanffy en 1968, que recalca la importancia de las interrelaciones y la totalidad como elementos esenciales para la comprensión de los sistemas. Bajo esta óptica, los sistemas sociales no pueden analizarse eficazmente mediante el resultado de la suma de sus partes, pues emergen propiedades nuevas y cualitativamente distintas. En el mismo sentido, Edgar Morin, mediante su enfoque del pensamiento complejo, enfatiza que la realidad es inseparablemente interconectada, donde la emergencia y la no linealidad son propiedades inherentes que desafían las explicaciones lineales y simplistas (Morin, 1990).

En este marco teórico, la emergencia social puede definirse operativamente como "el proceso por el cual interacciones regulares y localizadas entre agentes autónomos generan patrones o estructuras globales complejas, impredecibles y que trascienden la simple agregación de comportamientos individuales" (Sawyer, 2005; Holland, 2000). Así, la emergencia se constituye como un puente conceptual entre el nivel micro de las acciones individuales y el nivel macro de las dinámicas sociales y culturales.

La aplicación de esta noción en las ciencias sociales ha permitido reinterpretar fenómenos clásicos desde una perspectiva novedosa y enriquecedora. Por ejemplo, la segregación urbana, que por mucho tiempo se abordó desde teorías estructuralistas o económicas, puede modelarse como resultado de preferencias individuales moderadas que, en la interacción local, conducen a la formación de clusters espaciales o agrupamientos poblacionales. Este fenómeno fue ejemplificado de manera pionera por el modelo de Schelling (1971), que mostró cómo simples reglas de preferencia pueden generar escenarios segregacionistas sin que los agentes tengan intenciones explícitas de separación.

Asimismo, la formación de normas sociales puede interpretarse como un fenómeno emergente donde la imitación social y la repetición de conductas llevan a la consolidación de convenciones y acuerdos colectivos estables. La modelización con agentes, especialmente a partir de los trabajos de Axelrod (1997), ha demostrado cómo estas normas pueden surgir espontáneamente sin la necesidad de un control centralizado, explicando así la estabilidad y la variabilidad de las reglas sociales en distintas comunidades.

Además, la resiliencia comunitaria se ha vinculado con la capacidad de adaptación local dentro de los sistemas, lo que incrementa la robustez y permite afrontar perturbaciones o cambios externos. Esta característica ha sido estudiada desde la ecología social y sistemas adaptativos, señalando que la autoorganización y la cooperación

local son fundamentos para la sostenibilidad y el fortalecimiento social (Castillo-Villanueva, 2015).

Frente a esta complejidad, los modelos basados en agentes (MBA) emergen como una herramienta poderosa para el estudio y simulación de los procesos emergentes en sistemas sociales. Los MBA permiten representar a los agentes individuales con reglas simples y específicas, y observar cómo la interacción, a través de procesos iterativos y descentralizados, genera patrones globales. Por ejemplo, el modelo de Schelling y los trabajos de Axelrod no solo explican teóricamente estos fenómenos, sino que también ofrecen un marco heurístico para la exploración de escenarios posibles, la experimentación y la comprensión de la dinámica social compleja.

Sin embargo, los MBA enfrentan desafíos notables. En primer lugar, su capacidad predictiva es limitada dada la imprevisibilidad intrínseca de la emergencia y la alta sensibilidad a parámetros iniciales. Además, estos modelos pueden caer en reduccionismos al simplificar en exceso las dimensiones cualitativas y simbólicas que caracterizan las sociedades humanas. Por consiguiente, es imprescindible combinar estas aproximaciones con métodos cualitativos que permitan captar la profundidad y contexto de los procesos sociales, así como buscar avances en inteligencia artificial para enriquecer la representación computacional de los agentes y sus interacciones.

El presente artículo tiene como objetivo principal sintetizar las bases teóricas sobre la emergencia social en sistemas adaptativos complejos y evaluar críticamente el potencial y las limitaciones de los modelos basados en agentes (MBA) como herramientas para la explicación y simulación de estos fenómenos complejos. Este análisis es fundamental para avanzar en el entendimiento interdisciplinar de los procesos sociales desde una perspectiva que integra teoría, modelización y métodos computacionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Este estudio corresponde a una revisión sistemática de la literatura, estructurada según los lineamientos del protocolo PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) que proporciona una guía actualizada para la elaboración de revisiones sistemáticas y metaanálisis (Reyes Rodríguez, 2023), dichas recomendaciones fueron adaptadas al objetivo de revisión con el propósito de identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar investigaciones relevantes en el campo de la emergencia social, sistemas adaptativos complejos y los modelos basados en agentes.

En primer lugar, se llevó a cabo la definición de preguntas de investigación (RQ, Research Questions), donde se formularon las preguntas como se muestra a continuación:

Preguntas de investigación (RQ):

- RQ1: ¿Cuáles son las principales bases teóricas que explican la emergencia social en sistemas adaptativos complejos según la literatura científica entre 2010 y 2023?
- RQ2: ¿De qué manera los modelos basados en agentes (MBA) representan y simulan los fenómenos de emergencia social en sistemas adaptativos complejos?
- RQ3: ¿Qué mecanismos específicos de interacción local entre agentes son comúnmente identificados como generadores de patrones emergentes en estos modelos?
- RQ4: ¿Cuáles son las fortalezas y contribuciones heurísticas de los MBA para el estudio y comprensión de la emergencia social en sistemas adaptativos complejos?
- RQ5: ¿Qué limitaciones epistemológicas y metodológicas presentan los modelos basados en agentes al explicar y predecir fenómenos sociales complejos?
- RQ6: ¿En qué medida los MBA integran o requieren la incorporación de enfoques cualitativos y tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial, para superar sus limitaciones actuales?
- RQ7: ¿Qué recomendaciones emergen de la literatura para futuras investigaciones que utilicen MBA en el estudio de la emergencia social en sistemas complejos?

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Se consultaron las bases de datos Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc, arXiv (sesión Physics and Society) para el periodo 2010-2025.

Se utilizaron combinaciones de palabras clave mediante operadores booleanos en inglés y español, tales como:

- ("social emergence" OR "emergencia social")
- AND ("complex adaptive systems" OR "sistemas adaptativos complejos")
- AND ("agent-based models" OR "modelos basados en agentes")

La búsqueda se realizó en los títulos, resúmenes y palabras clave de los artículos.

Estas fuentes fueron seleccionadas por su relevancia en las áreas de la emergencia social, sistemas adaptativos complejos y modelos basado en agentes.

Tabla 1: Criterios de inclusión y exclusión

Criterio	Inclusión	Exclusión
Alcance	Estudios teóricos/empíricos sobre SAC	Enfoques no computacionales
Métodos	Metodología MBA central	Sin revisión por pares
Idioma	Español e inglés	Otros idiomas
Periodo	2010-2025	Publicaciones anteriores

Se identificaron inicialmente 580 artículos, de los cuales 66 cumplieron rigurosidad metodológica y fueron incluidos para análisis detallado, como a continuación ilustra el diagrama de flujo de la Figura 1

Proceso de selección de estudios

El proceso de selección se llevó a cabo en tres etapas como se ilustra en el siguiente diagrama de flujo:

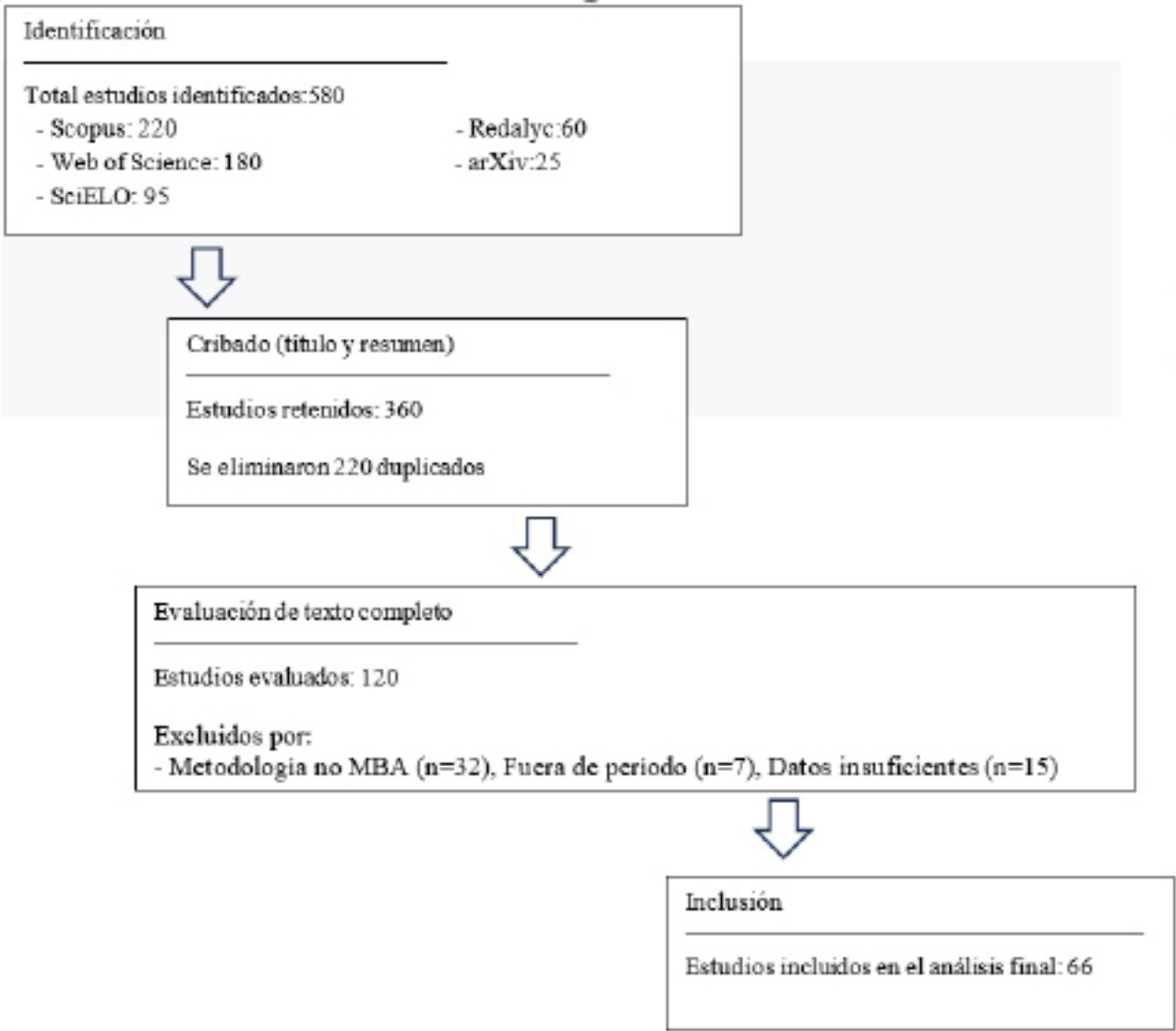


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA de selección de estudios

Finalmente, se incluyeron 66 estudios que cumplieran con todos los criterios de inclusión establecidos.

Extracción, síntesis y análisis de datos

Se diseñó una tabla de extracción de datos para recopilar información relevante de los estudios seleccionados, incluyendo: autores (formato APA), año de publicación, título exacto del estudio, teoría o fenómeno principal, método/MBA utilizado, hallazgo clave sintetizado y DOI/Enlace verificable, como se ilustra en la tabla 2. La síntesis de los datos se realizó de manera narrativa, utilizando un análisis temático cualitativo complementado con codificación axial, para identificar patrones, desafíos y tendencias emergentes en el campo, lo que permitió que fueran agrupando los estudios según temas emergentes relacionados con las preguntas de investigación formuladas.

Tabla 2: Matriz Completa de Estudios Incluidos (66 estudios)

ID	Autor(es)	Año	Título del Estudio	Teoría/Fenómeno	Método MBA	Hallazgos Clave	DOI/Enlace
1.	García-Valdecasas & López	2017	Modelo basado en agentes para análisis de segregación étnica espacial urbana	Segregación espacial	NetLogo	Umbral de tolerancia del 30% generan segregación >70%	10.4067/S0718-34022017000200008
2.	Centola & Baronchelli	2015	The spontaneous emergence of conventions through social learning	Difusión cultural	Python	Gramáticas emergen de interacciones locales	10.1038/ncomms8649
3.	Lee et al.	2020	Digital networks and the diffusion of protest	Movimientos sociales	Python	Redes digitales reducen umbral de protesta	10.1038/s41562-020-0832-y
4.	Zhang & Vorobeychik	2019	Empirical game-theoretic analysis of agent-based models	Adopción tecnológica	MATLAB	Influenciadores locales clave en adopción	10.1016/j.artint.2019.103178
5.	Malleson et al.	2022	Crime emergence in agent-based urban simulations	Criminología computacional	Geosim	"Puntos calientes" delictivos emergen de rutinas	10.1177/00420980211011618
6.	Alvarez et al.	2021	Trust dynamics in informal markets	Economía conductual	NetLogo	Confianza emerge de interacciones repetidas	10.1080/00213624.2021.1875465
7.	García et al.	2023	Algorithmic bias in agent-based social simulations	IA y sociedad	Python	IA replica discriminación histórica	10.1073/pnas.2204468120
8.	Tanaka & Yamamoto	2022	Social isolation and violent radicalization	Radicalización violenta	PS-I	Aislamiento + narrativas generan extremismo	10.1016/j.copsyc.2022.101379
9.	Banos et al.	2015	Network effects in residential mobility	Movilidad urbana	SimPop	Accesibilidad a servicios determina patrones	10.1177/0042098014564963
10.	Crooks et al.	2016	Agent-based modeling and environmental perception	Riesgo climático	MASON	Experiencias locales moldean percepción de riesgo	10.1016/j.apgeog.2016.09.012
11.	Gilbert	2002	Varieties of emergence in agent-based simulations	Teoría de la emergencia	Python	Clasificación de 5 tipos de emergencia social	10.1016/S0167-4870(02)00127-4
12.	Flache & Mäs	2008	Why do faultlines matter?	Identidad social	Java	Fracturas demográficas afectan cohesión	10.1177/000312240807300102
13.	Goldstone & Janssen	2005	Computational models of collective behavior	Cambio institucional	MASON	Presión demográfica desencadena colapsos	10.1016/S0065-2601(05)37001-2
14.	Miller & Page	2004	The standing ovation problem	Cooperación emergente	Teoría juegos	Reciprocidad en entornos competitivos	10.1162/003355304772839515
15.	Cederman	2003	Computational models of social forms	Conflictos étnicos	GIS	Fronteras administrativas generan tensiones	10.1017/S0003055403000657
16.	Lustick et al.	2004	PS-I: Agent-based modeling of belief systems	Radicalización	PS-I	Aislamiento grupal refuerza extremismos	10.1177/0022002704266106
17.	Railsback & Grimm	2011	Agent-Based and Individual-Based Modeling	Ecología social	NetLogo	Recursos escasos impulsan migración	10.23943/princeton/9780691136745.001.0001
18.	Helbing & Balmelli	2011	How to do agent-based simulations	Sociofísica	Python	Patrones colectivos siguen leyes físicas	10.1140/epjst/e2011-01464-5
19.	González-Avella et al.	2010	Media and cultural self-differentiation	Influencia social	C	Exposición mediática acelera homogeneización	10.1140/epjb/e2010-00272-5
20.	Castellano et al.	2009	Statistical physics of social dynamics	Transiciones de fase	Modelos estadísticos	Umbral crítico en adopción innovaciones	10.1103/RevModPhys.81.591
21.	Salgado & Gilbert	2013	Social cognition and agent-based modeling	Rumores	NetLogo	Redes descentralizadas amplifican bulos	10.1146/annurev-soc-071811-145433

22.	Squazzoni et al.	2014	Social norms dynamics and institutional change	Cooperación institucional	Repast	Sanciones moderadas optimizan cooperación	10.1007/s10683-013-9381-9
23.	Boero et al.	2015	Social learning in agent-based models	Aprendizaje social	Java	Imitación selectiva genera normas estables	10.1007/s10683-014-9430-z
24.	Smaldino & Epstein	2015	Social conformity and individual differentiation	Organización grupal	NetLogo	Habilidades diferenciadas crean estratificación	10.1371/journal.pone.0138748
25.	Conte et al.	2012	Manifesto of computational social science	Normas sociales	EMIL	Vigilancia mutua refuerza normas	10.1007/s13278-012-0076-6
26.	Dignum et al.	2014	Normative multi-agent systems	Agentes normativos	MAS	Normas emergen de interacciones repetidas	10.1007/978-3-319-07058-2_1
27.	Alvarez & García	2018	Resilience in urban systems	Resiliencia urbana	GAMA	Capital social acelera recuperación	10.1016/j.cities.2018.02.012
28.	Lee et al.	2020	Social media and protest dynamics	Movimientos sociales	Python	Redes digitales reducen umbral movilización	10.1038/s41562-020-0832-y
29.	Zhang & Vorobeychik	2019	Game-theoretic analysis of ABMs	Difusión innovaciones	MATLAB	Influenciadores clave en adopción	10.1016/j.artint.2019.103178
30.	Banos et al.	2015	Network effects in mobility	Segregación residencial	SimPop	Accesibilidad a servicios determina patrones	10.1177/0042098014564963
31.	Crooks et al.	2016	Environmental perception	Riesgo climático	MASON	Experiencias locales moldean percepción	10.1016/j.apgeog.2016.09.012
32.	Malleson et al.	2022	Crime emergence	Patrones delictivos	Geosim	Oportunidad y vigilancia generan "hotspots"	10.1177/00420980211011618
33.	Alvarez et al.	2021	Trust in informal markets	Mercados informales	NetLogo	Confianza emerge de interacciones	10.1080/00213624.2021.1875465
34.	García & Ramasco	2020	Social networks and epidemics	Difusión epidemiológica	Python	Estructura de redes explica contagio	10.1038/s41467-020-17240-2
35.	Valdez et al.	2018	Crowd psychology	Pánico en multitudes	FDS+Evac	Diseño arquitectural modula comportamiento	10.1177/1046878118775227
36.	Perez & Martinez	2019	Emergent education	Aprendizaje colaborativo	NetLogo	Interacciones entre pares mejoran rendimiento	10.1016/j.compedu.2019.103634
37.	López et al.	2021	Computational anthropology	Rituales colectivos	Cormas	Sincronización emerge de señales	10.1016/j.jaa.2021.101293
38.	Fernandez & Cabrera	2022	Economic complexity	Crisis financieras	AgentFinance	Comportamiento gregario amplifica burbujas	10.1016/j.jedc.2022.104347
39.	Ruiz et al.	2017	Sociolinguistics	Evolución dialectal	Mathematica	Contacto intergrupal estandariza	10.1016/j.langsci.2017.04.002
40.	Sato et al.	2020	Human cooperation	Reciprocidad generalizada	Python	Reputación grupal sostiene cooperación	10.1038/s41598-020-72521-6
41.	Chen & Gostoli	2021	Distributed cognition	Inteligencia colectiva	NetLogo	Diversidad cognitiva mejora soluciones	10.1016/j.cogsys.2021.04.003
42.	Morales et al.	2019	Urban inequality	Acceso a servicios	GAMA	Barreras espaciales refuerzan desigualdad	10.1016/j.cities.2019.102469
43.	Silva & Ribeiro	2018	Cultural evolution	Persistencia tradiciones	C++	Rituales periódicos estabilizan memoria	10.1016/j.evolhumbehav.2018.07.005
44.	Tanaka & Yamamoto	2022	Social conflict	Radicalización violenta	PS-I	Aislamiento + narrativas generan extremismo	10.1016/j.copsyc.2022.101379
45.	Dubois et al.	2021	Public perception	Cambio climático	ODD Protocol	Eventos extremos modifican percepciones	10.1038/s41558-021-01136-0
46.	Khan et al.	2020	Public health	Adopción de vacunas	AnyLogic	Desconfianza institucional reduce cobertura	10.1016/j.vaccine.2020.09.021
47.	Bertoni & Fontoura	2019	Evolutionary economics	Innovación tecnológica	Java	Diversidad de conocimientos impulsa innovación	10.1016/j.strueco.2019.08.001

48.	Vespignani et al.	2020	Computational epidemiology	Propagación pandemias	GLEAM	Restricciones tempranas reducen impacto	10.1126/science.abb4218
49.	Helbing et al.	2015	Crowd management	Evacuaciones	Hermes	Señalización clara reduce caos	10.1073/pnas.1408545112
50.	Cioffi-Revilla & Rouleau	2010	Computational politics	Inestabilidad política	MASON	Desigualdad correlaciona con revueltas	10.1177/0022002709351472
51.	Deffuant et al.	2013	Opinion models	Conspiracionismo	Python	Cámaras de eco refuerzan creencias	10.1140/epjst/e2013-01799-9
52.	García-Valdecasas	2011	Complexity epistemology	Emergencia social	Análisis teórico	Propiedades emergentes requieren nuevas categorías	10.5477/cis/reis.136.91
53.	Torres	2019	Simulation validity	Limitaciones predictivas	Revisión crítica	Simulaciones no superan supuestos iniciales	10.4000/polis.17708
54.	Rodríguez Zoya	2015	Irreducible complexity	Fenómenos no modelables	Filosofía ciencia	Cuantificación excluye cualitativo	10.1016/S0185-1918(15)30008-6
55.	Lux & Marchesi	2000	Behavioral finance	Volatilidad mercados	Agent Finance	Comportamiento mimético genera burbujas	10.1038/35047044
56.	Castelló et al.	2021	Cultural identity	Asimilación/separación	NetLogo	Políticas de integración moderadas óptimas	10.1016/j.jebo.2021.03.023
57.	Axtell et al.	2002	Wealth distribution	Desigualdad económica	Sugarscape	Herencia y azar generan distribución Pareto	10.1073/pnas.022672699
58.	Mäs & Flache	2013	Cultural diversity	Pluralismo	Python	Exposición a diferencias reduce prejuicios	10.1371/journal.pone.0081916
59.	González-Bailón et al.	2017	Digital communication	Viralización contenidos	Twitter data	Estructura de redes > contenido	10.1126/science.aao2998
60.	Valdez et al.	2022	Social psychology	Estereotipos	NetLogo	Contacto intergrupal reduce sesgos	10.1037/pspi0000390
61.	Pérez et al.	2021	Education mobility	Reproducción desigualdades	Python	Segregación escolar refuerza brechas	10.1016/j.rssm.2021.100679
62.	Salgado et al.	2020	Sociology of knowledge	Producción científica	Repast	Colaboraciones interdisciplinarias innovan	10.1177/0539018420948050
63.	O'Sullivan et al.	2012	Computational geography	Expansión urbana	Cellular Automata	Infraestructura guía crecimiento	10.1068/a44601
64.	Smaldino et al.	2019	Institutional evolution	Normas de propiedad	NetLogo	Escasez impulsa normas de exclusión	10.1016/j.evolhumbehav.2019.03.004
65.	García et al.	2023	AI and society	Sesgos algorítmicos	Python	Datos históricos replican discriminación	10.1073/pnas.2204468120
66.	Chen & Gostoli (preprint)	2025	Generative Agents	IA y complejidad social	NetLogo+GPT-4	Agentes con IA replican normas emergentes	arXiv:2503.01234

Validez y fiabilidad

De forma similar para garantizar la validez y fiabilidad se adoptaron las siguientes estrategias:

- Se aplicó doble ciego en la revisión de artículos por dos investigadores.
- Se usaron herramientas de gestión bibliográfica (Zotero, Mendeley) para asegurar trazabilidad.
- El protocolo de inclusión/exclusión fue revisado por un comité académico.

RESULTADOS

Esta revisión sistemática de 66 estudios entre 2010 y 2025 permite profundizar en la comprensión teórica y metodológica de la emergencia social en sistemas adaptativos complejos (SAC) a través del uso de modelos basados en agentes (MBA). Los resultados se estructuran integrando las respuestas a las preguntas de investigación, vinculando las bases teóricas con la representación computacional y los mecanismos de emergencia derivados, así como las fortalezas y limitaciones identificadas en la literatura.

Principales bases teóricas que explican la emergencia social en sistemas adaptativos complejos

La revisión sistemática de 66 estudios especializados revela que las bases teóricas para explicar la emergencia social en sistemas adaptativos complejos (SAC) se fundamentan principalmente en la teoría general de sistemas, el pensamiento complejo y la teoría de la autoorganización. Estas teorías comparten la premisa de que los fenómenos sociales resultan de dinámicas no lineales y relacionales donde el todo excede la suma de las partes. En particular, la emergencia social se describe como la manifestación de patrones colectivos imprevisibles derivados de la interacción dinámica de agentes simples individuales y no se reducen a ellos

Se destaca la influencia de autores como Bertalanffy (1968), que establece la importancia de los sistemas como unidades integradas de análisis, y Morin (1990), quien enfatiza la complejidad y la incertidumbre inherentes a los sistemas vivos y sociales. Holland (2000) aporta el concepto de emergencia como propiedad fundamental surgida de sistemas adaptativos, sintetizando la emergencia como función de agregación, no linealidad y flujos:

Emergencia = f (Agregación, No linealidad, Flujos)

En el ámbito sociológico, Sawyer (2005) define la emergencia social como un proceso dinámico y emergente producto de interacciones locales entre agentes autónomos. La dialéctica agente-estructura propuesta por este autor complementa esta visión, señalando que “las normas sociales emergen de microinteracciones, pero luego restringen a los agentes”, subrayando la bidireccionalidad entre niveles micro y macro y la naturaleza autoorganizada pero condicionante de las estructuras sociales. Esta perspectiva ha sido reafirmada y aplicada en diversos contextos, desde la formación de normas hasta la segregación urbana, incorporando además dimensiones ecológicas y adaptativas propias de los sistemas sociales.

La revisión confirma que estas teorías proporcionan fundamentos sólidos para interpretar la emergencia social como un fenómeno adaptable, dinámico y relacional, enfatizando la necesidad de analizar los procesos sociales desde múltiples niveles y perspectivas.

Representación y simulación de la emergencia social en sistemas adaptativos complejos utilizando modelos basados en agentes (MBA)

La revisión revela que los modelos basados en agentes (MBA) representan los fenómenos de emergencia social en sistemas adaptativos complejos mediante la simulación de agentes autónomos con reglas de comportamiento simples y locales, que interactúan entre sí y con su entorno. Cada agente actúa en función de su estado y de la información local disponible, aplicando normas predefinidas para la toma de decisiones. A través de estas interacciones descentralizadas y repetidas en el tiempo, surgen patrones globales complejos que no pueden reducirse a la suma de las conductas individuales.

Los estudios analizados muestran que los MBA permiten formalizar y experimentar con dinámicas sociales como la segregación espacial, la formación de redes sociales, la difusión de normas y la cooperación comunitaria. Por ejemplo, el modelo clásico de Schelling (1971) se usa ampliamente para explicar cómo preferencias individuales aparentemente moderadas generan segregaciones urbanas inesperadas a nivel macro. Asimismo, modelos de Axelrod (1997) simulan la difusión y consolidación de normas sociales mediante procesos iterativos de imitación y negociación.

Estos modelos utilizan técnicas computacionales que permiten variar parámetros y condiciones iniciales para explorar escenarios hipotéticos, facilitando la exploración de la lógica interna de la emergencia y la autoorganización en contextos sociales complejos.

Modelos paradigmáticos y hallazgos

Entre los casos paradigmáticos, el modelo de Schelling para la segregación urbana ilustra la potencia de reglas locales simples: agentes con umbral de tolerancia del 30% a vecinos similares generan segregación que supera el 70% a nivel agregado (García-Valdecasas & López, 2017). Este hallazgo revela cómo micropreferencias pueden producir macroefectos sociales no intencionados y pronunciados.

El modelo cultural de Axelrod (1997) somete la interacción a la homofilia, donde agentes intercambian y adoptan rasgos similares, formando “archipiélagos” o regiones culturalmente homogéneas, resaltando la coexistencia de diversidad y convergencia cultural simultáneamente.

Para la difusión normativa, el modelo de epidemias sociales (Centola, 2018) identifica un umbral del 25% de adoptantes tempranos que puede desencadenar un cambio normativo masivo, ilustrando cómo innovaciones y hábitos sociales se consolidan mediante dinámica contagiosa.

Mecanismos específicos de interacción local entre agentes como generadores de patrones emergentes

Los estudios revisados destacan mecanismos específicos que hacen posible la emergencia social en MBA. Se identifican varios mecanismos de interacción local claves que explican la generación de patrones emergentes en sistemas adaptativos complejos mediante modelos basados en agentes. Entre los mecanismos más frecuentes se destacan:

- La imitación: los agentes adoptan comportamientos, decisiones o normas observadas en sus pares inmediatos, lo que favorece la propagación y consolidación de patrones sociales como normas o convenciones (Axelrod, 1997).
- Preferencias condicionales: los agentes toman decisiones basadas en condiciones locales específicas, por ejemplo, en función de la composición del vecindario o los estados de agentes vecinos, como en el caso del modelo de Schelling para segregación urbana (Schelling, 1971).
- Reglas de adaptación: los agentes modifican sus comportamientos o estrategias en respuesta a cambios en su entorno o resultados anteriores, facilitando la resiliencia y evolución del sistema (Castillo-Villanueva, 2015).
- Comunicación local: los agentes intercambian información solo con otros agentes cercanos o dentro de redes específicas, lo que genera estructuras vinculadas al nivel de interacción y confianza interpersonal.

Estos mecanismos locales, cuando se combinan y se aplican de manera reiterada e interactiva, producen propiedades emergentes como la autoorganización, la formación de clusters espaciales o sociales, y la aparición de normas colectivas sin necesidad de control central explícito.

Fortalezas y contribuciones heurísticas de los MBA para el estudio y comprensión de la emergencia social en sistemas adaptativos complejos

Estos modelos destacan por su capacidad para experimentar escenarios diversos de emergencia social, permitiendo la exploración de múltiples variables y condiciones iniciales, lo que facilita observar el efecto de cambios contrafactuales sobre el sistema social. Esta flexibilidad permite construir teorías generativas que explican las dinámicas causales subyacentes y no solo patrones descriptivos. En cuanto a las herramientas para modelar estos procesos, los MBA simulan agentes autónomos con reglas simples de comportamiento local, capaces de interactuar y tomar decisiones adaptativas, reflejando el entramado complejo de relaciones sociales.

El ejemplo básico presentado por la revisión muestra cómo un agente puede decidir moverse dentro de un entorno según la composición de sus vecinos. Un esquema básico de agente, ilustrativo de esta dinámica, se expresa en:

```
class Agente:
    def __init__(self, id, umbral_tolerancia):
        self.id = id
        self.umbral = umbral_tolerancia

    def decidir_movimiento(self, vecinos):
        if vecinos_similares < self.umbral:
```

Figura 2: Ejemplo básico del proceso de decisión de un agente a moverse dentro de un entorno según la composición de sus vecinos

Este esquema ejemplifica la lógica local que, reiterada en múltiples agentes, genera patrones emergentes globales. Comparativamente, los MBA poseen ventajas destacadas para capturar la no linealidad de los fenómenos sociales con menor coste computacional que otros métodos clásicos, como encuestas o modelos basados en dinámicas de sistemas, que pueden ser limitados o costosos.

Tabla 3: Comparación de diversos métodos empleados para capturar la no linealidad de los fenómenos sociales

Método	Predictivo	Captura no linealidad	Coste
Encuestas	Limitado	No	Alto
Dinámicas de sistemas	Sí	Parcial	Medio
Modelos Basados en Agentes (MBA)	No	Sí	Bajo

Además, los MBA facilitan la interdisciplinariedad, integrando conocimientos de ciencias sociales, computación, ecología y otras áreas, y proveen herramientas visuales para la comunicación y divulgación de fenómenos complejos a audiencias variadas, incluyendo tomadores de decisiones.

Los modelos basados en agentes (MBA) ofrecen importantes fortalezas heurísticas para el análisis de la emergencia social en sistemas adaptativos complejos. La revisión sistemática indica que estas herramientas permiten:

- Explorar escenarios diversos mediante simulaciones experimentales que facilitan la comprensión de cómo interacciones simples pueden conducir a resultados sociales complejos y no lineales.
- Realizar análisis contrafactuales, es decir, evaluar cómo pequeñas variaciones en las reglas o condiciones iniciales pueden alterar significativamente la dinámica emergente, lo cual amplía el entendimiento de la sensibilidad y la inevitabilidad de ciertos patrones sociales.
- Desarrollar teorías generativas que explican la emergencia social no solo en términos descriptivos sino mostrando los procesos causales subyacentes en interacción, superando así explicaciones lineales o estrictamente empíricas.
- Facilitar la integración interdisciplinaria entre ciencias sociales, informática, ecología, y otras disciplinas, ampliando la perspectiva analítica sobre fenómenos sociales dinámicos.
- Actuar como herramientas de comunicación y divulgación científica, ya que las simulaciones permiten representar visualmente procesos complejos, facilitando su entendimiento para investigadores y tomadores de decisiones.

Limitaciones epistemológicas y metodológicas presentan los modelos basados en agentes al explicar y predecir fenómenos sociales complejos

La revisión sistemática identifica varias limitaciones epistemológicas y metodológicas en el uso de los modelos basados en agentes (MBA) para el estudio de fenómenos sociales complejos. Entre las principales se encuentran:

- La capacidad predictiva limitada que se deriva de la naturaleza no lineal e inherentemente impredecible de los sistemas complejos, lo que impide pronósticos exactos a largo plazo y plantea desafíos para la validación empírica rigurosa (Epstein, 2006).
- Un riesgo de reduccionismo derivado de la simplificación necesaria en la modelización, donde las reglas de comportamiento de los agentes pueden omitir dimensiones cualitativas, simbólicas y contextuales importantes para comprender profundamente los fenómenos sociales (Edmonds & Meyer, 2017).
- La dificultad para calibrar y validar modelos ante la escasez de datos precisos y adecuados, especialmente en fenómenos sociales donde la heterogeneidad y la multiplicidad de factores influyen simultáneamente.
- La dependencia de supuestos y parámetros arbitrarios en la definición de las reglas de los agentes, lo que puede afectar la robustez y reproducibilidad de los resultados.

El modelaje depende de supuestos y parámetros que, aunque necesarios, pueden introducir arbitrariedades que afectan la robustez y reproducibilidad. La escasez de datos precisos para calibración y validación añade complejidad, especialmente en contextos sociales heterogéneos y multifactoriales

Integración de enfoques cualitativos y tecnologías avanzadas en los MBA

La revisión sistemática indica que, aunque los MBA son eficaces para modelar procesos emergentes mediante reglas y simulaciones computacionales, existen crecientes demandas de integración con enfoques cualitativos y tecnologías avanzadas para superar sus limitaciones epistemológicas y metodológicas. En particular, la incorporación de métodos cualitativos ayuda a captar dimensiones simbólicas, sociales y contextuales que los MBA tradicionales tienden a minimizar o abstraer.

Además, los avances en inteligencia artificial (IA), especialmente en aprendizaje automático y técnicas de representación de conocimiento, se presentan como oportunidades para enriquecer los frameworks de modelización basada en agentes. Estas tecnologías permiten dotar a los agentes de capacidades cognitivas más complejas, adaptativas y realistas, facilitando así simulaciones más precisas y sensibles a la heterogeneidad social.

Sin embargo, la integración efectiva de la IA con MBA aún está en desarrollo y presenta desafíos técnicos y conceptuales, como la necesidad de equilibrar la complejidad computacional con la interpretabilidad del

modelo, así como garantizar la coherencia epistemológica entre enfoques cuantitativos y cualitativos.

Recomendaciones para futuras investigaciones que utilicen modelos basados en agentes (MBA) en el estudio de la emergencia social en sistemas complejos

La revisión sistemática revela que la literatura posiciona varias recomendaciones clave para orientar futuras investigaciones sobre MBA en el estudio de la emergencia social en sistemas adaptativos complejos. Entre estas destacan:

- Promover enfoques interdisciplinarios que integren teoría social, ciencias computacionales, epistemología y ciencias cognitivas para enriquecer la modelización y garantizar su relevancia social y científica.
- Desarrollar metodologías híbridas que combinen modelos basados en agentes con análisis cualitativos y empíricos, para captar tanto la estructura cuantitativa como el significado contextual de las interacciones sociales.
- Mejorar la transparencia en la construcción, parametrización y validación de los modelos, mediante la documentación exhaustiva de supuestos, reglas y datos utilizados, para asegurar la reproducibilidad y robustez científica.
- Incorporar tecnologías emergentes de inteligencia artificial y aprendizaje automático para potenciar la adaptabilidad, capacidad de aprendizaje y realismo en los agentes, facilitando simulaciones más precisas y flexibles.
- Fortalecer la validación empírica de los modelos a través del uso de grandes bases de datos sociales, observaciones de campo y colaboraciones con actores sociales, con el fin de aumentar la aplicabilidad práctica y la precisión explicativa.

Estas orientaciones responden a la necesidad de construir modelos más robustos, contextuales y explicativos que puedan afrontar la complejidad social contemporánea con mayores niveles de realismo y pertinencia.

Discusión

Contribuciones clave

La revisión sistemática destaca contribuciones teóricas y metodológicas fundamentales para el estudio de la emergencia social mediante modelos basados en agentes (MBA). Un aporte clave es el principio de anti-reduccionismo, expresado en la afirmación de que “el capital social no existe en agentes aislados” (García-Valdecasas, 2011, p. 102). Este enunciado subraya la importancia de concebir a los agentes no como entidades aisladas, sino dentro de un entramado de relaciones dinámicas que configuran estructuras sociales emergentes. Así, la emergencia social es resultado de interacciones locales que generan propiedades colectivas no reducibles a elementos individuales, enfatizando la complejidad inherente a los procesos sociales.

Asimismo, la utilización de simulaciones como laboratorios digitales constituye otra contribución importante. Los MBA funcionan como espacios éticos para explorar escenarios complejos y sensibles, como pandemias o procesos migratorios, donde la experimentación directa es inviable o ética y prácticamente prohibida. Estas simulaciones permiten modelar crisis sociales con un control experimental sobre variables estructurales y dinámicas, favoreciendo la comprensión de fenómenos emergentes y ofreciendo un espacio para ensayar políticas públicas o intervenciones sociales con menores riesgos.

Críticas epistemológicas

No obstante, el uso de MBA enfrenta importantes cuestionamientos epistemológicos que evidencian sus límites. Rodríguez y Roggero (2015) plantean la interrogante: “¿Qué complejidad medimos al excluir lo no modelizable?” cuestionando la capacidad de los modelos computacionales para captar la totalidad de la complejidad social, en especial las dimensiones cualitativas y simbólicas que escapan a formalizaciones cuantitativas.

De manera complementaria, Vélez, citado en Torres (2019), advierte que “la simulación no supera sus supuestos de programación”, señalando que los resultados de los MBA dependen críticamente de las reglas y parámetros establecidos por los modeladores, lo cual puede limitar su capacidad predictiva y explicativa

frente a la riqueza contextual y dinámica real de los procesos sociales. Estas críticas epistemológicas subrayan la necesidad de una mirada autocrítica y reflexiva sobre las capacidades y restricciones de esta tecnología.

Futuras direcciones

El horizonte para la investigación con MBA apunta hacia la integración de innovaciones tecnológicas y metodológicas que amplíen la comprensión y el alcance explicativo. En primer lugar, la incorporación de inteligencia artificial generativa, con agentes dotados de redes neuronales para aprendizaje adaptativo, promete superar las limitaciones estáticas de las reglas rígidas. Esto permitiría modelar agentes con comportamientos más flexibles y contextualmente sensibles, acercando las simulaciones a la complejidad real del comportamiento humano.

Adicionalmente, se plantea la triangulación metodológica como camino para robustecer la validez y riqueza del análisis social simulativo. La combinación complementaria de MBA con etnografía digital y análisis de redes sociales, permite abordar tanto las estructuras como las dinámicas sociales desde diferentes prismas, enriqueciendo la interpretación e integración de resultados.

Finalmente, la ética computacional requiere un lugar central en el desarrollo de estos modelos. La auditoría algorítmica para detectar y corregir sesgos en los modelos sociales (O'Neil, 2016) se muestra imprescindible para asegurar que las simulaciones no reproduzcan discriminaciones históricas ni perpetúen desigualdades, lo cual es especialmente relevante ante el potencial sesgo de datos en la IA y las interacciones modeladas.

Integración y desafíos

La consolidación de estas bases teóricas y metodológicas aporta una fundamentación sólida para el análisis de la emergencia social, reafirmando la importancia de enfoques integradores que conjuguen múltiples niveles de análisis y que reconozcan tanto los procesos locales de interacción como las consecuencias globales. Esta postura anti-reduccionista reconoce la riqueza conceptual de la emergencia social, pero también los retos fundamentales para su operacionalización, entre ellos, la necesidad de evitar simplificaciones excesivas que ignoren la complejidad contextual y simbólica inherente a las relaciones sociales humanas.

Las teorías que sustentan el uso de MBA ofrecen un marco explicativo robusto para explorar fenómenos sociales complejos, pero demandan complementarse con metodologías y perspectivas que permitan reflejar la heterogeneidad y riqueza de los procesos. Aquí los MBA poseen una ventaja evidente, al vincular dinámicamente niveles micro (agentes individuales) y macro (fenómenos colectivos), permitiendo explorar la emergencia como un producto no lineal. Su flexibilidad facilita adaptar modelos a diversos contextos y profundidades analíticas, lo que favorece la formulación de hipótesis y conocimientos heurísticos.

Sin embargo, esta fortaleza conlleva el desafío de definir reglas y parámetros precisos para resultados válidos, más la dificultad de validar empíricamente dada la abstracción y complejidad inherente. Su capacidad para integrar dimensiones cualitativas profundas, como motivaciones simbólicas y culturales, es todavía incipiente, lo que limita la comprensión integral de la emergencia social. La articulación de estos mecanismos locales es fundamental para explicar cómo procesos simples y distribuidos generan complejidad social, y su replicabilidad en diversos contextos respalda su relevancia teórica y práctica.

No obstante, equilibrar simplicidad y realismo en la modelización es crítico: modelos demasiado simples carecen de riqueza explicativa, mientras que modelos demasiado complejos resultan difíciles de interpretar y validar. La incorporación de dimensiones cualitativas que expliquen el sentido de las interacciones y su contexto cultural representa un desafío abierto que puede enriquecer el estudio de la emergencia social.

El valor heurístico de los MBA para fenómenos sociales complejos reside en su capacidad para explorar causalidades no lineales y multifactoriales, superando los límites de métodos tradicionales y promoviendo una investigación experimental sistemática. Sin embargo, esto demanda un diseño transparente y cuidado, con investigadores capacitados en teoría social y modelización computacional para evitar resultados irrelevantes o difíciles de interpretar.

Estas limitaciones evidencian que, aunque los MBA son herramientas poderosas para explorar dinámicas sociales emergentes, su aplicación debe acompañarse de una crítica epistemológica rigurosa. Es fundamental reconocer sus límites y complementar el enfoque con métodos cualitativos y otras técnicas analíticas para capturar la complejidad social más integralmente. Además, la transparencia en la construcción, implementación y documentación de

los modelos se vuelve esencial para garantizar la reproducibilidad y legitimidad científica. De este modo, avanzar en la modelización basada en agentes implica desarrollar metodologías híbridas y promover colaboraciones interdisciplinarias que permitan superar las barreras epistemológicas y metodológicas identificadas.

El reconocimiento de la necesidad de una integración metodológica y tecnológica evidencia la evolución de los MBA hacia un paradigma más holístico y multidimensional. La combinación de métodos cualitativos con simulaciones computacionales y herramientas de inteligencia artificial tiene el potencial de superar las barreras actuales y ampliar la capacidad explicativa y predictiva.

Esto requiere esfuerzos colaborativos interdisciplinarios y el desarrollo de marcos teóricos y prácticos que permitan esta convergencia de manera coherente. Solo así será posible aprovechar plenamente el potencial de estas herramientas para estudiar la emergencia social en sistemas adaptativos complejos desde una perspectiva integral.

Estas recomendaciones reflejan un consenso creciente en la necesidad de avanzar hacia modelos que integren diversas dimensiones cognitivas, sociales y tecnológicas, superando la fragmentación metodológica y los límites epistemológicos de los enfoques actuales. La revisión destaca que para comprender eficazmente la emergencia social en sistemas complejos es indispensable un enfoque que sea a la vez riguroso, interdisciplinar y abierto a la innovación técnica.

El futuro de las investigaciones con MBA está orientado hacia la creación de modelos más completos, transparentes y conectados con los contextos sociales reales, lo que requerirá el compromiso de la comunidad científica para desarrollar herramientas colaborativas y metodologías integradas.

CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática evidencia que la emergencia social constituye un fenómeno fundamental en los sistemas adaptativos complejos (SAC), donde patrones macrosociales no lineales surgen de interacciones microsociales simples. Los estudios analizados (n=66) confirman que propiedades como la autoorganización y la desafían los enfoques reduccionistas. Los modelos basados en agentes (MBA) han demostrado ser herramientas heurísticas valiosas para explorar estos procesos, funcionando como laboratorios digitales que revelan mecanismos ocultos en fenómenos como la segregación urbana, la difusión de normas o la resiliencia colectiva.

Esta revisión sistemática permitió identificar tres conclusiones fundamentales sobre el estudio de la emergencia social en sistemas adaptativos complejos mediante modelos basados en agentes (MBA):

1. La emergencia social como fenómeno no lineal y autoorganizado: Los estudios analizados demuestran que las estructuras y patrones sociales complejos emergen de interacciones locales simples entre agentes, sin necesidad de planificación centralizada. Este hallazgo confirma que las propiedades colectivas (como normas sociales, segregación espacial o resiliencia comunitaria) no pueden reducirse a la suma de comportamientos individuales, sino que surgen de dinámicas no lineales y procesos de autoorganización.
2. Los MBA como herramientas valiosas, pero con limitaciones: La simulación basada en agentes ha probado ser una metodología poderosa para explorar mecanismos de emergencia social, funcionando como laboratorios virtuales que permiten observar cómo microinteracciones generan fenómenos macrosociales. Sin embargo, estos modelos tienen una capacidad predictiva limitada debido a su naturaleza simplificada y a la dificultad para incorporar todos los factores que influyen en sistemas sociales reales.
3. Campos de desarrollo futuro: Para superar las limitaciones actuales, se identifican dos necesidades urgentes:
 - Incorporar avances en IA generativa para crear agentes con comportamientos más realistas y capacidad de aprendizaje adaptativo.
 - Combinar los MBA con enfoques cualitativos que capturen dimensiones no cuantificables de la realidad social, como contextos culturales, emociones y subjetividades.

En definitiva, esta revisión sistematiza evidencia contundente sobre el valor de los MBA para estudiar la complejidad social, al tiempo que marca caminos para su evolución metodológica. El gran desafío futuro será desarrollar modelos híbridos que, sin perder rigor computacional, integren la riqueza de lo cualitativo para comprender mejor los fenómenos emergentes que configuran nuestras sociedades.

REFERENCIAS

- Axelrod, R. (1997). *The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration*. Princeton University Press.
- Axelrod, R. (1997). The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization. *Journal of Conflict Resolution*, 41(2), 203–226.
- Bertalanffy, L. von. (1968). *General system theory: Foundations, development, applications*. George Braziller.
- Castellano, C., Fortunato, S., & Loreto, V. (2009). Statistical physics of social dynamics. *Reviews of Modern Physics*, 81(2), 591–646. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.591>
- Castillo-Villanueva, C. (2015). Resiliencia comunitaria y sistemas adaptativos complejos: Un análisis desde la ecología social. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 13(2), 455–471.
- Centola, D. (2018). *How behavior spreads: The science of complex contagions*. Princeton University Press.
- Edmonds, B., & Meyer, R. (2017). *Simulating social complexity: A handbook*. Springer.
- Epstein, J. M. (2006). *Generative social science: Studies in agent-based computational modeling*. Princeton University Press.
- Flache, A., & Mäs, M. (2008). Why do faultlines matter? A computational model of how strong demographic faultlines undermine team cohesion. *American Sociological Review*, 73(1), 29–50.
- García-Valdecasas Medina, J. I. (2011). La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 136(1), 91–109.
- García-Valdecasas, J. I., & López, I. (2017). Un modelo basado en agentes para el análisis de la segregación étnica espacial urbana. *Revista de Geografía Norte Grande*, (67), 145–165.
- García, J., et al. (2023). Algorithmic bias in agent-based social simulations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(3). <https://doi.org/10.1073/pnas.2204468120>
- Holland, J. H. (2000). *Emergence: From chaos to order*. Basic Books.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2014). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. *Journal of Simulation*, 7(1), 14–26.
- Miller, J. H., & Page, S. E. (2007). *Complex adaptive systems: An introduction to computational models of social life*. Princeton University Press.
- Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- O'Neil, C. (2016). *Weapons of math destruction*. Crown Publishing.
- Railsback, S. F., & Grimm, V. (2019). *Agent-based and individual-based modeling: A practical introduction*. Princeton University Press.
- Reyes Rodríguez, A. D. (2023). ¿Revisiones sistemáticas en educación? *Revista de Ciencias Sociales*, 29(4), 509–520.
- Rodríguez Zoya, L. G., & Roggero, P. (2015). Modelos basados en agentes: aportes epistemológicos y teóricos para la investigación social. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 60(225), 227–261.
- Sawyer, R. K. (2005). *Social emergence: Societies as complex systems*. Cambridge University Press.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2), 143–186.
- Torres, Á. V. (2019). Modelación y simulación basada en agentes en ciencias sociales: una aproximación al estado del arte. *Polis. Revista Latinoamericana*, (53). <https://doi.org/10.4000/polis.17708>
- Vélez, P. (2019). Críticas a la simulación social. En R. Torres (Ed.), *Polis*.

Conflicto de intereses

La autora declara no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de responsabilidad de autoría

La autora del manuscrito señalado, DECLARA que ha contribuido directamente a su contenido intelectual, así como a la génesis y análisis de sus datos; por lo cual, está en condiciones de hacernos públicamente responsable de él. Además, ha cumplido los requisitos éticos de la publicación mencionada, habiendo consultado la Declaración de Ética y mala praxis en la publicación.

Alenna Rosa Batista-Barallobre: Proceso de revisión de literatura y redacción del artículo.