



Ingeniería

ISSN: 0121-750X

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Anzola, David

Una Exploración Conceptual de la Formación de Patrones en Sistemas Sociales Autorganizados

Ingeniería, vol. 23, núm. 1, 2018, Enero-Abril, pp. 84-102

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.12407>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498858053006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UDEM redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

A Conceptual Exploration of Pattern Formation in Social Self-Organized Systems

Una Exploración Conceptual de la Formación de Patrones en Sistemas Sociales Autorganizados

David Anzola^{*,1}

¹Centro de Innovación, Escuela de Administración, Universidad del Rosario

*Correspondence email: david.anzola@urosario.edu.co

Received: 06-09-2017. Modified: 23-11-2017. Accepted: 30-11-2017

Abstract

Context: The concept of self-organization plays a major role in contemporary complexity science. Yet, the current framework for the study of self-organization is only able to capture some of the nuances of complex social self-organizing phenomena.

Method: This article addresses some of the problematic elements in the study of social self-organization. For this purpose, it focuses on pattern formation, a feature of self-organizing phenomena that is common across definitions. The analysis is carried out through three main questions: where can we find these patterns, what are these patterns and how can we study these patterns.

Results: The discussion shows that there is a high level of specificity in social self-organized phenomena that is not adequately addressed by the current complexity framework. It argues that some elements are neglected by this framework because they are relatively exclusive to social science; others, due to the relative novelty of the studies on social complexity

Conclusions: It is suggested that interdisciplinary collaboration between social scientists, complexity scientists and engineers is needed, in order to overcome traditional disciplinary limitations in the study of social self-organized phenomena.

Keywords: Self-organization, social complexity, pattern formation, agent-based modelling.

Language: Spanish.

Open access



Cite this work as: D. Anzola, "A Conceptual Exploration of Pattern Formation in Social Self-Organized Systems", Ingeniería, vol. 23, no. 1, pp. 84-102, 2018.

©The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.12407>

Resumen

Contexto: El concepto de autoorganización juega un papel fundamental en las ciencias de la complejidad; sin embargo, dado el carácter diverso y decididamente práctico de dichas ciencias, el aparato teórico-metodológico que se ha desarrollado para la comprensión de la autoorganización no articula adecuadamente todos los elementos necesarios para el estudio de fenómenos sociales complejos.

Método: Este artículo ejemplifica algunas de las limitaciones del marco de la complejidad para el estudio de la autoorganización, centrándose en la formación de patrones, una característica transversal a las definiciones de autoorganización en diferentes áreas de conocimiento. La discusión se desarrolla a partir de tres preguntas básicas: ¿dónde están los patrones?, ¿qué son los patrones? y ¿cómo se estudian estos patrones?

Resultados: Para cada una de las preguntas anteriores, se muestra que existe un alto nivel de especificidad en los fenómenos sociales autoorganizados, que no es adecuadamente abarcado por el marco actual de las ciencias de la complejidad. Tal especificidad se encuentra relacionada, por un lado, con aspectos que no se han discutido dentro de las ciencias de la complejidad porque son exclusivos de las ciencias sociales y, por el otro, con aspectos que no han sido analizados robustamente, dada la novedad histórica de los estudios en complejidad social.

Conclusiones: Es necesario entablar una colaboración interdisciplinar que involucre investigadores dentro de las ciencias sociales, las ciencias de la complejidad y la ingeniería, con el fin de superar las limitaciones tradicionales para la comprensión de los fenómenos sociales complejos autoorganizados.

Palabras clave: Autoorganización, complejidad social, formación de patrones, simulación basada en agentes

Idioma: Español.

1. Introducción

El concepto de autoorganización juega un papel fundamental dentro del marco teórico-metodológico de las ciencias de la complejidad, ya que, junto con el concepto de emergencia, permite explicar transiciones micro-macro en los sistemas complejos. Dado el carácter interdisciplinar de las ciencias de la complejidad, no hay, naturalmente, una definición monolítica del concepto de autoorganización. Sin embargo, Gilbert *et al.* [1] sugieren que la mayoría de definiciones encontradas en la literatura de diferentes áreas disciplinares incluyen cuatro propiedades básicas en la articulación del concepto: formación de patrones, autonomía, robustez/resiliencia y dinámica. El concepto de autoorganización se usa para explicar cómo, en fenómenos complejos, la interacción *autónoma* de entidades en un nivel inferior produce, a partir de la *dinámica* del sistema, *patrones robustos* en un nivel superior.

Este artículo presenta un análisis crítico de la noción de autoorganización en ciencias sociales. El objetivo es mostrar que, si bien las cuatro propiedades identificadas por Gilbert *et al.* [1] son relativamente claras cuando se describen de manera general dentro del marco de las ciencias de la complejidad, su aplicación en áreas disciplinares específicas puede resultar problemática. Por limitaciones en extensión, el análisis se centrará solo en una de las propiedades mencionadas: formación de patrones. La selección se realizó bajo los supuestos, primero, de que la formación de patrones es la más básica de las cuatro propiedades, dado que los fenómenos autoorganizados son inicialmente identificados por los patrones que exhiben y, segundo, de que el análisis de dicha pro-

iedad permite, al mismo tiempo, explorar similitudes y diferencias entre las ciencias sociales y otras áreas disciplinares dentro del marco de la complejidad.

El texto sugiere que hay varios interrogantes sobre la formación de patrones en fenómenos sociales autoorganizados para los que no se encuentra una respuesta satisfactoria dentro del actual marco teórico-metodológico de las ciencias de la complejidad. Con el fin de abordar estos interrogantes, el texto se divide en seis secciones. La sección 2 discute la relación entre autoorganización, complejidad y ciencias sociales. A partir de esta discusión, la secciones 3, 4 y 5 analizan la formación de patrones por medio de tres preguntas básicas: ¿dónde están los patrones?, ¿qué son los patrones? y ¿cómo se modelan los patrones? Estas preguntas exploran desde diferentes ángulos la especificidad de las ciencias sociales dentro del marco de la complejidad y la autoorganización. La sección 6 finaliza el texto con algunas conclusiones. Algunas recomendaciones respecto al posible rol de la ingeniería en la comprensión y producción de fenómenos sociales autoorganizados son presentadas.

2. Rastreando la noción de ‘autoorganización’ en ciencias sociales

Dado que este artículo se centra en sistemas sociales complejos, el análisis se enfoca en los usos de ‘autoorganización’ que surgen o se emplean dentro del marco de las ciencias de la complejidad. Naturalmente, no puede plantearse un vínculo unívoco ente autoorganización y complejidad. Inicialmente, puede preguntarse por la historia. El concepto de autoorganización precede al de complejidad y sus orígenes son difíciles de rastrear. Algunos autores consideran que los cimientos básicos de la noción de la autoorganización provienen de los griegos [2]. Otros, por el contrario, prefieren referirse a autores modernos, como Descartes y, particularmente, Kant, quien fue el primero en usar el término en una acepción muy similar a la actual [3]. Independientemente de dónde se ubique el surgimiento histórico del concepto de autoorganización, es claro que ya estaba parcialmente articulado para la mitad del siglo veinte, momento para el cual, según diversas fuentes, se inserta dentro del marco de las ciencias de la complejidad [1], [4].

Los referentes disciplinares para el concepto de autoorganización en complejidad varían en la literatura; sin embargo, los autores mencionados regularmente pueden distinguirse porque, además de su trabajo en autoorganización, hacen referencia a otros elementos disciplinares importantes. Un ejemplo recurrente es Ashby [5], quien uso el término ‘autoorganización’ para referirse a la posibilidad de producir cambio autoinducido en la organización de una máquina. Dentro de la literatura en complejidad, Ashby es uno de los primeros referente disciplinares para el concepto de autoorganización, primero, por el énfasis que puso en la noción de sistema y su comportamiento componencial y, segundo, por la importante influencia que la cibernética tuvo en el desarrollo del marco teórico-metodológico de las ciencias de la complejidad.

Si bien el concepto de autoorganización antecede históricamente al desarrollo del marco teórico-metodológico de la complejidad, es dentro de este marco donde el concepto está más robustamente articulado. La vinculación del concepto de autoorganización con las ciencias de la complejidad tiene consecuencias distintivas en la comprensión del mismo, debido a dos características particulares del marco de las ciencias de la complejidad. Inicialmente, estas ciencias están poco integradas

teóricamente: las diferentes áreas de estudio son decididamente empíricas, dejando a un lado la construcción teórica y filosófica. De igual forma, están centradas más en el uso de modelos, que, en comparación con teorías, son contextuales y generalmente involucran un alto contenido subjetivo [6]–[8]. Por otro lado, la agenda filosófica de la complejidad es, en gran medida, exclusiva y en pocos casos se ha estudiado comparativamente. La literatura sobre complejidad usualmente discute el carácter paradigmático de las ciencias de la complejidad y el evidente rompimiento que se genera con los supuestos filosóficos de la ciencia clásica [9]–[11]. Sin embargo, no se ha hecho mucho esfuerzo en delimitar lo que constituye novedad para las diferentes ramas del saber. El énfasis en el rol del investigador, por ejemplo, por su posible impacto en la medición, no es novedoso para las ciencias sociales, si bien puede serlo para otras áreas de estudio [12], [13].

Como resultado de las características distintivas del marco de la complejidad anteriormente mencionadas, se puede evidenciar, primero, que la noción de autoorganización dentro de este marco está fragmentada y depende de manera significativa del objeto y método de estudio y, segundo, que la noción es, en parte, exclusiva y poco conocida fuera de este marco. Esta exclusividad en la comprensión del concepto de autoorganización fue evidenciada, para el caso de las ciencias sociales, por el estudio realizado por Anzola *et al.* [14]. En este artículo, los autores presentan una revisión sistemática del concepto de autoorganización en ciencias sociales. Según ellos, los usos de la noción de ‘autoorganización’ en ciencias sociales pueden agruparse en tres grandes categorías. En la primera, se encuentran aquellos usos del concepto que se refieren al término en su significado etimológico más sencillo, es decir, por la unión del prefijo ‘auto’ y ‘organización’. La segunda categoría agrupa los usos que adelantan o están enmarcados dentro de un marco teórico-metodológico propio de una investigación específica, pero no el de la complejidad. En la tercera categoría, finalmente, se incluyen los usos que hacen referencia directa al marco de la complejidad.

Una de las conclusiones más importantes de la revisión es que hay muy pocos trabajos que pueden incluirse dentro del tercer grupo, es decir, aquel que referencia explícitamente las ciencias de la complejidad. Esto, aclaran los autores, no significa que las ciencias sociales no se hayan preocupado históricamente por el problema de la autoorganización. La ausencia de fertilización cruzada entre las ciencias de la complejidad y las ciencias sociales tradicionales, aseguran, se debe, más bien, a que, en ciencias sociales, la preocupación por la autoorganización está enmarcada dentro del uso de conceptos que han jugado un rol disciplinarizante, como ‘orden’ en sociología y ‘equilibrio’ en economía, o conceptos que en las últimas décadas han adquirido un considerable carácter interdisciplinar en ciencia social, como ‘organización’ e ‘institución’.

En el caso de las ciencias sociales, puede citarse una razón adicional, relacionada con la forma como estas disciplinas se han acercado históricamente al problema de la complejidad. A diferencia de las ciencias naturales, biológicas o artificiales, donde la complejidad está necesariamente asociada al paradigma de la computación [15], [16], las ciencias sociales han incorporado una parte significativa del aparato filosófico de la complejidad, particularmente en ontología y epistemología, sin necesariamente comprometerse con todos los elementos metodológicos que son comunes en otras áreas del conocimiento, entre ellos, la simulación computacional. El movimiento postmodernista en ciencias sociales, por ejemplo, reconstruye (y deconstruye) la complejidad como el rompimiento con la ciencia clásica, pero lo hace siempre desde el punto de vista teórico y filosófico [17]. Por otra parte, en algunas áreas de las ciencias sociales donde el enfoque es procesual o basado en casos, la

complejidad ha tenido un importante impacto metodológico, pero el acercamiento a los fenómenos de interés todavía hace uso de herramientas propias de ciencias sociales, mayormente cualitativas, que no son comunes en otras áreas de conocimiento dentro de las ciencias de la complejidad [18], [19].

Esta separación entre ciencias sociales y ciencias de la complejidad ha limitado parcialmente la aplicación del concepto de autoorganización en el estudio de fenómenos sociales, pues hay importantes desarrollos teórico-metodológicos de las ciencias de la complejidad que, a pesar de su utilidad potencial, no se han transferido a la ciencia social tradicional, pero hay, también, preguntas con respecto a la autoorganización en sistemas sociales complejos que no se han respondido dentro del marco de las ciencias de la complejidad, dado que son interrogantes, hasta cierto punto, exclusivos a las ciencias sociales e.g. que los seres humanos pueden percibir los patrones, reflexionar y reaccionar a ellos. En la siguiente sección se muestra cómo la fragmentación teórico-metodológica del concepto de autoorganización dentro del marco de la complejidad ha evitado, hasta ahora, abordar preguntas que son importantes para el estudio y comprensión de sistemas sociales complejos.

3. ¿Dónde están los patrones?

Los fenómenos autoorganizados generalmente se identifican a partir de la presencia de patrones a nivel macro, que surgen de la interacción en un nivel inferior. Hay varias preguntas relacionadas con la formación de patrones en fenómenos sociales complejos sobre las que, en principio, podría generarse una amplia discusión. La primera de estas preguntas se centra en dónde se encuentran estos patrones. Inicialmente, puede hacerse una distinción entre patrones en los fenómenos y en los datos. Los patrones en fenómenos pueden, al mismo tiempo, dividirse entre patrones en la estructura o en la dinámica del fenómeno. En el caso de las ciencias sociales, los patrones en la estructura pueden dividirse también entre elementos estructurales asociados con la acción y elementos estructurales externos, como tiempo y espacio. Eventualmente, podrían generarse una gran cantidad de tipologías. Las categorías mencionadas anteriormente (representadas gráficamente en Figura 1), sin embargo, reflejan, quizá, los aspectos más básicos de la formación de patrones en ciencias sociales.

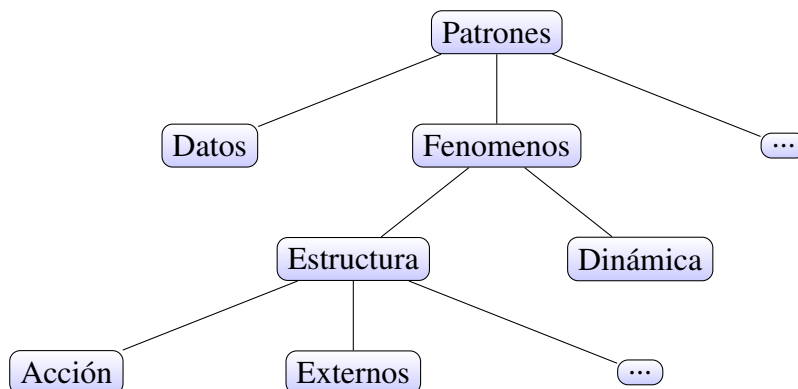


Figura 1. Patrones en sistemas sociales autoorganizados

La pregunta sobre los elementos estructurales involucrados en la formación de patrones en sistemas sociales complejos cobra relevancia para la presente discusión si se tiene en cuenta el énfasis histórico, casi exclusivo, que las ciencias sociales han puesto en la acción y los actores [20], [21].

En lo que se refiere a la última distinción: entre aspectos estructurales que se relacionan directamente o son externos a la acción, es claro que varios fenómenos auto-organizados surgen de las propiedades o acciones de los individuos que componen el sistema. Un caso frecuente de estudio en complejidad social son los fenómenos de difusión e.g., de opinión, innovaciones, preferencias de mercado, entre otros [22]. El carácter autoorganizado de dichos fenómenos es ejemplificado por el popular modelo de dinámicas de opinión de Hegselmann y Krause [23]. Estos autores emplean una simulación basada en agentes en la que una población es creada con valores aleatorios en una variable numérica de intervalo, que representa una opinión. Cuando se ejecuta el modelo, los agentes cambian su opinión a partir del promedio de opiniones que se encuentran entre un intervalo limitado de confianza. Es decir, los agentes solo consideran opiniones que no son tan distantes cognitivamente de su propia opinión. Dependiendo del tamaño de los intervalos de confianza, el modelo produce tres posibles resultados: pluralidad, polarización y consenso (Figura 2). En el primero, una gran cantidad de opiniones subsisten; en el segundo, la población converge en solo dos opiniones, que, generalmente, son distantes en el espectro de opinión; en el tercero, todos los agentes se adhieren a una única opinión. En los fenómenos de difusión, los patrones que surgen del proceso de autoorganización son patrones en la distribución de opiniones dentro de la población.

Se encuentran, no obstante, varios casos en los que los patrones no están relacionados con actores, sus propiedades y sus acciones. La segregación espacial, que en la literatura ha sido ampliamente trabajada a través del modelo de segregación de Schelling [24], es un fenómeno bastante conocido. El modelo de Schelling, usualmente modelado con autómatas celulares, consta de una población dividida en dos grupos, distribuidos aleatoriamente en una matriz. En cada turno, cada individuo evalúa su vecindario, generalmente las ocho celdas que lo rodean, y, dependiendo de un porcentaje deseado de similitud (esto es, de vecinos que pertenecen al mismo grupo), decide si moverse a un espacio libre de la matriz o quedarse donde está. El modelo se popularizó porque patrones claramente identificables de segregación espacial aparecían entre las dos poblaciones, incluso cuando el modelo es corrido con porcentajes deseados de similitud generalmente bajos (Figura 2). Aunque el modelo supone la interacción entre los agentes, el patrón de interés en este caso es espacial. Este patrón depende de la interacción de los agentes, pero también de la configuración espacial y el principio subyacente de asimetría espacial entre los agentes.

Si bien ambos modelos, el de Hegselmann y Krause y el de Schelling, generan patrones de agrupación/segregación, el primero lo hace en un espacio cartesiano, mientras el segundo lo hace en un espacio físico. Como se dijo anteriormente, este tipo de distinción en el contexto de fenómenos complejos autoorganizados cobra importancia para las ciencias sociales por la tendencia a explicar el mundo social en términos de acciones o estados cognitivos de los actores, dejando a un lado lo material y lo natural. Una de las ventajas importantes proporcionadas por los métodos empleados en el estudio de sistemas complejos es que estos métodos permiten incorporar varios elementos que trascienden a los actores y sus acciones. La simulación basada en agentes, por ejemplo, permite crear un mundo artificial con correspondencia ontológica entre los objetos del modelo y los del mundo real, en el que tanto la producción humana, como los diferentes elementos naturales, pueden ser modelados [25].

La comprensión de los elementos constitutivos de los fenómenos sociales autoorganizados, entonces, probablemente requiera un mayor diálogo teórico y metodológico entre las ciencias sociales

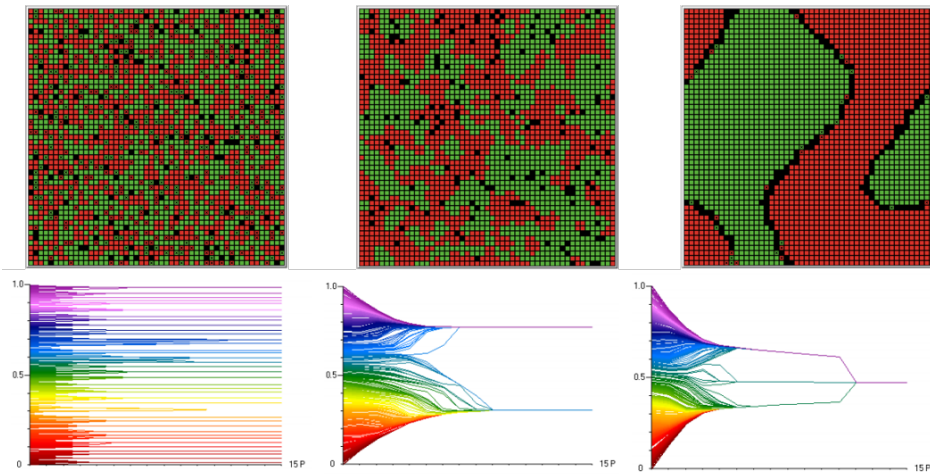


Figura 2. Arriba: el modelo de Schelling [24] (gráficos generados por Netlogo [26], [27]). Población inicial (izquierda), resultados con similitud deseada en 30 % (centro) y similitud deseada al 70 % (derecha). Abajo: el modelo de Hegselmann y Krause [23]. Pluralidad (izquierda), polarización (centro) y consenso (derecha).

tradicionales y las ciencias de la complejidad. Mientras estas últimas pueden contribuir con elementos metodológicos que facilitan la representación de los patrones, las primeras pueden aportar un conocimiento disciplinar que, por el carácter interdisciplinar de las ciencias de la complejidad, está actualmente ausente en la conceptualización del concepto de autoorganización. Dado el carácter material de los métodos computacionales empleados para la aproximación a los fenómenos complejos, la comprensión computacional también depende de los avances en materia ingenieril. Varias de las extensiones con las que se ha mostrado la robustez del mecanismo subyacente de asimetría espacial del modelo de Schelling hacen uso de modelos en donde hay una representación espacial con alto nivel de realismo [28]. Generar estas representaciones, sin embargo, requirió inicialmente de un avance ingenieril en términos del desarrollo de sistemas híbridos que combinan modelos basados en agentes y sistemas de información geográfica [29].

Con respecto a la distinción entre patrones en la estructura y la dinámica de los fenómenos, de nuevo, puede verse en la literatura que hay sistemas que se consideran autoorganizados por su resultado, como la segregación espacial en el modelo de Schelling, explicado anteriormente. También otros fenómenos en los que patrón autoorganizado se asocia con la dinámica. Axelrod [30], por ejemplo, empleó un modelo basado en un dilema de prisionero iterado, en el que diferentes estrategias creadas por expertos en teoría de juegos fueron enfrentadas entre sí en dos torneos de todos contra todos, en rondas de 600 iteraciones. El modelo se popularizó gracias al inesperado ganador: una técnica bastante simple, denominada *tit-for-tat* (en español puede traducirse como ‘ojo por ojo’), que cooperaba en el primer turno y, a partir de ahí, replicaba la elección de su contrincante en el turno anterior. Los modelos de juegos iterados producen autoorganización como resultado del proceso de interacción que, eventualmente, permite a estrategias altruistas obtener los mejores resultados acumulados. A partir de este énfasis en la dinámica es que Axelrod [31] concluyó que las estrategias más efectivas eran aquellas que no eran las primeras en desertar y las que podían perdonar al oponente después de una deserción. Aquellas que no cumplían con estas dos características, corrían el riesgo de entrar en cadenas largas o interminables de deserción, reduciendo de manera significativa el puntaje al final del juego. Es posible que un patrón en la estructura tenga un correlato o pueda convertirse a un patrón en la dinámica y viceversa. No obstante, la distinción no

es trivial, ya que la manera como decida reconstruirse este patrón tiene efectos en las decisiones metodológicas, así como en la narrativa que se construye sobre el proceso de autoorganización del fenómeno en cuestión. Estos dos elementos se trabajarán con mayor detalle en las próximas secciones.

Finalmente, la distinción entre patrones en los fenómenos y patrones en los datos cobra relevancia en el contexto de construcción de los hechos científicos. Hay varios patrones autoorganizados en fenómenos complejos: las células de Bénard, los bancos de peces, los sistemas planetarios o los grafos aleatorios, que se identifican perceptualmente en el fenómeno de interés. La segregación espacial es un caso en las ciencias sociales: se organiza geográficamente a partir de interacciones entre individuos que generan reubicación espacial de los agentes insatisfechos con su situación. En las disciplinas sociales, los patrones en los fenómenos son interesantes porque los participantes, por sus características cognitivas, pueden responder a ellos. La segregación espacial está relacionada con diversos aspectos, como el acceso desigual a bienes y servicios públicos y sociales, y puede, también, generar segregación en niveles emergentes superiores, por ejemplo, cuando la institución educativa a la que se asiste es determinada por la ubicación de residencia [32]. Las personas que son afectadas por esta segregación pueden responder a sus efectos, entre otras cosas, cambiando de lugar de residencia para acceder a mejores colegios, cambiando así las características del patrón generado por una interacción previa.

Entre tanto, existen varios patrones que no están necesariamente caracterizados por elementos o propiedades perceptibles del fenómeno de interés. Un ejemplo paradigmático de estos patrones, bastante popular en las ciencias de la complejidad, son los atractores [7]. Los atractores, como su nombre lo sugiere, son conjuntos de valores sobre los cuales un sistema tiende a converger. La noción de atractor es tan importante dentro del contexto de la complejidad que el poder generativo de la autoorganización, consideran algunos autores, está ligada a la presencia de ciertos tipos de atractores [33], [34]. A diferencia de los patrones mencionados anteriormente, sin embargo, los atractores son patrones en un hiperespacio, es decir, se autoorganizan con relación a trayectorias de las mediciones del sistema.

Los patrones en datos exhibidos por muchos fenómenos complejos autoorganizados se encuentran en lo que Suppes [35] denomina como ‘modelos de datos’. Según él, no solamente las teorías están basadas en modelos. Los datos que se extraen de los fenómenos, igualmente, requieren de un tipo particular de modelo, pues no se construyen ni se interpretan a partir de un análisis de primer orden. Los datos también requieren del empleo de modelos que permitan articularlos en una forma coherente. Para realizar inferencias, es necesario construir un modelo que involucre desde actividades sencillas, como limpiar los datos, por ejemplo, para descontar casos extremos, hasta construir estructuras matemáticas que den cuenta de las supuestas relaciones entre estos datos. Muchos de los patrones que usualmente se consideran autoorganizados, tanto en ciencias sociales, como en otros fenómenos estudiados bajo el marco de la complejidad, son, en realidad, patrones en los datos, pues no dependen directamente de la percepción del fenómeno.

La percepción como criterio de demarcación puede considerarse problemática, pues, dependiendo del área, ambos tipos de modelos pueden ser difíciles de separar. El condensado Bose-Einstein es un reconocido fenómeno autoorganizado en física, que presenta una clara transición de fase [36].

Dadas las dimensiones de las partículas físicas, este no es un fenómeno accesible a la percepción humana directa. Es reconstruido tecnológicamente, haciendo uso de datos y teorías que trascienden el campo de la física. El diseño y la ingeniería tienen un rol importante en la comprensión y (re)producción de fenómenos complejos autoorganizados, primero, porque algunos de estos fenómenos no son directamente perceptibles, segundo, porque el acceso a estos fenómenos es indirecto: a través de modelos, y, tercero, porque algunos elementos técnicos de estos modelos, por ejemplo, la visualización, se han hecho imprescindibles para la explicación [25], [37].

El carácter material del estudio de fenómenos complejos autoorganizados pueden llevar a cuestionar, hasta cierto punto, la separación entre perceptible en principio y en práctica y entre percepción directa y mediada por herramientas. No obstante, la distinción entre patrones en fenómenos y en datos es útil porque, como se verá en las siguientes secciones, por un lado, la percepción del investigador es fundamental para la conceptualización de la autoorganización y, por el otro, el proceso de modelado involucra una gran cantidad de conocimiento tácito e intuiciones sobre el fenómeno de interés, ligados, entre otras cosas, con la percepción. En las ciencias sociales, además, la distinción entre patrón en el fenómeno y en los datos es útil porque los patrones en datos no son necesariamente patrones que los agentes participantes puedan reconocer y frente a los cuales puedan reaccionar.

4. ¿Qué son los patrones?

La discusión de la sección anterior hace evidente que los juicios sobre qué tipo de patrones se asocian con fenómenos autoorganizados están mediados por una diversidad de cuestiones metafísicas que se encuentran poco estandarizadas. La pregunta sobre el carácter ontológico de los patrones en fenómenos autoorganizados es fundamental por dos razones. Inicialmente, la respuesta a esta pregunta depende de interpretaciones particulares, ligadas, generalmente, al área de estudio. Los patrones generados por fenómenos complejos son descritos de diferente forma en la literatura: como un incremento en la coordinación, una reducción de la entropía, un movimiento de estructuras simples a complejas, una reducción en los grados de libertad, entre otros [1]. Las variaciones en la definición de lo que es el patrón producido en procesos de autoorganización usualmente está ligada a la naturaleza del fenómeno que se está trabajando y al aparato teórico-metodológico empleado para su estudio.

En algunos casos, las cuestiones metafísicas son abarcadas o respondidas por medio del uso de aparatos conceptuales de carácter comprensivo. El concepto de entropía, por ejemplo, se originó en termodinámica, pero ha sido exitosamente adecuado a otras áreas de conocimiento, como la teoría de la información o la mecánica cuántica. Existen otras áreas dentro de las ciencias de la complejidad, sin embargo, donde la aplicación del concepto de entropía estaría limitada. Si bien se podría analizar un fenómeno social en términos de entropía, el empleo del concepto sería metafórico (e.g. [38]) o implicaría una reducción conceptual, por un lado, de lo social, con el fin de adecuar el problema a los modelos generados en otras áreas, como la termodinámica (e.g. [39]), o del concepto de entropía, que se usaría sin contenido semántico, con referencia exclusiva a la formulación de un modelo específico (e.g. [40]). Esto necesariamente impone restricciones en la manera como la noción de autoorganización es conceptualizada. En ciencias sociales, el uso del concepto de entropía requiere responder preguntas importantes, entre ellas, sobre formalización, que no son necesariamente problemáticas en otras áreas de conocimiento, donde existe consenso sobre las teorías

de la medición y las propiedades, reflejada, entre otras cosas, en un marco matemático generalizado para el estudio de los fenómenos de interés.

Dado el bajo nivel de formalización de la teoría social, muchos de los juicios sobre ontología en fenómenos sociales son resueltos metodológicamente. La metodología, por un lado, se usa para instanciar ciertas intuiciones metafísicas sobre los fenómenos de interés y, por el otro, para articular elementos disciplinares idiosincráticos dentro de la conceptualización de estos fenómenos. La literatura en complejidad, como se mencionó anteriormente, tiende a enfatizar las similitudes entre diferentes áreas problemáticas que convergen bajo este marco, con el fin de establecer diferencias entre las ciencias de la complejidad y la ciencia tradicional. Sin embargo, es claro que la complejidad está lejos de ser un paradigma robustamente unificado. Hay todavía varios elementos disciplinares que permean desigualmente la comprensión de los diferentes fenómenos complejos. Metafísicamente, la comprensión de fenómenos autoorganizados en cada área disciplinar tiene un alto nivel de especificidad que, generalmente, responde al desarrollo histórico de los métodos de investigación en las diferentes áreas disciplinares tradicionales. Incluso herramientas metodológicas que son hasta cierto grado exclusivas de la complejidad, como la simulación basada en agentes, exhiben estos elementos idiosincráticos de cada área de conocimiento. En ciencias sociales, por ejemplo, la noción computacional de ‘agente’ está influenciada por diferentes desarrollos en áreas como la psicología y la filosofía, generando un acercamiento metodológico a este tipo de simulación computacional que difiere filosóficamente del acercamiento en otras áreas de las ciencias de la complejidad [25]. En la simulación social, entre otras cosas, es visible una mayor preocupación por la arquitectura de los agentes, dado que algunos autores consideran que uno de los retos más importantes para la simulación por agentes en ciencias sociales es capturar en la simulación la mayor capacidad cognitiva de los seres humanos [8], [41].

En sistemas sociales complejos, además, las preguntas sobre la ontología de los patrones autoorganizados están relacionadas con intuiciones que involucran una gran cantidad de conocimiento tácito, que no ha sido sistemáticamente explorado. En ciencias sociales, la conceptualización de lo que es un proceso autoorganizado se encuentra mediada, hasta cierto punto, por las intuiciones relacionadas con el rol de la producción en los fenómenos sociales. La noción de producción aparece en teorías de causalidad para describir vínculos causa-efecto en donde, como su nombre lo indica, la relación causal está mediada por la producción o generación del efecto, no por probabilidades estadísticas o contrafácticos [42]. La teoría social introduce ontológicamente la noción de producción en la discusión sobre la acción y su efecto en la emergencia del mundo social. Intuiciones sobre producción, sin embargo, no pueden explorarse con varios métodos, particularmente de carácter cuantitativo, que no incluyen representaciones explícitas de agentes o instituciones, ni sus acciones. En comparación, la literatura sobre simulación basada en agentes generalmente se acerca a los fenómenos de interés en términos de producción. Es claro para los practicantes de simulación social, por ejemplo, que el patrón espacial en el modelo de Schelling depende de formas particulares de interacción: la decisión de los agentes de moverse tiene efectos directos en el porcentaje de similitud deseada de sus vecinos, generando ciclos de retroalimentación que pueden rastrearse retrospectivamente a partir de las acciones de cada agente. Aunque el modelo se interpreta sin hacer referencia a la producción, hay una comprensión implícita de la interdependencia entre las decisiones de los agentes, reconstruida en términos de emergencia, causalidad descendente, consecuencias inesperadas de la acción, entre otros. [43].

La segunda razón por la que la pregunta sobre ontología es importante es porque la autoorganización depende de manera significativa de la función atribuida al fenómeno de interés y de la perspectiva del investigador. Es poco probable que pueda siempre encontrarse una respuesta única y unívoca a lo que caracteriza metafísicamente al patrón de interés. Dependiendo de cómo se mire, un fenómeno se puede organizar frente a unos aspectos, pero desorganizarse en otros [14], [44]. Influye, inicialmente, la granularidad escogida para determinar, por un lado, niveles micro y macro del fenómeno y, por el otro, lo que se considera como estados del sistema. Igualmente, la función asociada con el sistema cumple un papel relevante. Cada función está particularmente ligada a un conjunto de variables que se considera de interés. El resto de variables son eventualmente relegadas a un segundo plano, construyendo una idea particular de lo que es el fenómeno, en general, y el patrón de interés, en particular. Gershenson y Heylighen [44] proponen el comportamiento de enjambre como un caso ejemplificante. Este comportamiento puede estudiarse en términos de la velocidad y la posición de los agentes. En este tipo de fenómenos se observa que, con el tiempo, los agentes ajustan sus velocidades para conservar una estructura espacial. Los estados del sistema, entonces, se concentran en el plano espacial, pero se hacen mucho más variables en el plano de la velocidad. Si el énfasis es en la posición, el sistema se autoorganiza; si es, por el contrario, en la velocidad, el sistema se desorganiza.

La granularidad y la función encuentran varios correlatos en el contexto social. En algunos casos, involucrando una amplia cantidad de variables, en diferentes niveles. La estratificación social, por ejemplo, se considera usualmente como un proceso autoorganizativo relacionado con la producción de jerarquías sociales. Estas jerarquías están asociadas con una gran cantidad de funciones económicas, políticas y sociales. La jerarquización política, entre otras cosas, permite el control social, a partir de la generación de instituciones formales de gobierno y la selección de personas que se dediquen tiempo completo a gobernar. Si bien las jerarquías políticas son, a nivel social, un proceso autoorganizativo que incrementa la eficiencia y la eficacia en el control político, a nivel individual, usualmente, genera diferentes formas de desigualdad, como salarial, educativa o residencial. Si el enfoque se pusiera en el nivel micro, difícilmente se podrían identificar los patrones autoorganizados producidos por procesos de estratificación social a nivel macro.

Los sistemas sociales complejos tienen una dimensión adicional relacionada con la función, que no es común en otros sistemas complejos. En fenómenos sociales, como se mencionó anteriormente, los agentes también pueden adscribir o percibir una función y reaccionar a ella. Esto tiene dos implicaciones importantes para las dinámicas de autoorganización. Por un lado, varias organizaciones humanas son creadas con una función específica, que puede estar formulada explícitamente y obtener reconocimiento, formal e informal, por parte de individuos dentro y fuera de la organización. Las empresas son, quizá, el ejemplo paradigmático. La explicitación de una función y el reconocimiento formal, usualmente, están asociados con intentos de control de las dinámicas de autoorganización en estas organizaciones [45]. Por otro lado, la función en algunos fenómenos también puede verse afectada por esfuerzos conscientes de cambio. Condiciones persistentes de inequidad política pueden generar apatía dentro de la población y, eventualmente, una disminución en la participación política, facilitando un cambio informal de la función de las organizaciones, por ejemplo, para beneficiar el enriquecimiento de los servidores públicos [46] o pueden, también, incrementar los niveles de insatisfacción al punto de promover el surgimiento de políticas contenciosas que cambien formalmente la función de la organización [47].

Funcionalmente, las características y conceptualización de patrones en fenómenos sociales auto-organizados depende, no solamente de la perspectiva del investigador, sino también de los participantes, pues estos pueden generar intentos de control o cambio del patrón y su dinámica que no son comunes en otras áreas del conocimiento. Es interesante, sin embargo, que los investigadores en las ciencias de la complejidad no han prestado mucha atención a esta forma particular de dinámicas adaptativas, probablemente, porque son distintivamente sociales. En teoría de juegos, por ejemplo, se ha explorado muy poco los efectos de cambiar con el tiempo la estructura de recompensa, a pesar de que es algo técnicamente trivial y reflejaría, de alguna manera, los cambios de interacción que uno podría esperar en sistemas sociales complejos. En este tipo de aspectos es, quizá, donde la fertilización cruzada con las ciencias sociales tradicionales pueda ser útil para las ciencias de la complejidad, pues lo que se requiere en este caso no son avances teórico-metodológicos en complejidad, sino información sobre las bases morales y cognitivas de los acuerdos interpersonales [14].

5. ¿Cómo se modelan los patrones?

Los aspectos ontológicos, dado el enfoque decididamente práctico de las ciencias de la complejidad, se manifiestan mayormente durante el proceso de modelado. Dentro de las ciencias de la complejidad se emplea una gran cantidad de formas de modelado que no necesariamente responden a la misma lógica. A través de las diferencias técnicas entre estas formas de modelado se hacen explícitas diferencias ontológicas que no son tan claras conceptualmente. Como se mencionó anteriormente, los conceptos de emergencia y autoorganización se usan de manera intercambiable en varios contextos. Sin embargo, hay una clara diferencia conceptual: ‘emergencia’ es normalmente usado para explicar el carácter no reducible o cualitativamente novedoso de los patrones a nivel de sistema¹, mientras ‘autoorganización’, por su parte, es utilizado para referirse al carácter no centralizado de la interacción que permite el surgimiento de los patrones. La razón por la que en muchos casos no se diferencian es que, conceptualmente, la mayoría los fenómenos que cumplen con una de estas características cumplen también con la otra. Metodológicamente, sin embargo, las diferencias entre emergencia y autoorganización pueden hacerse explícitas. La dinámica de sistemas, por ejemplo, es un tipo de modelado computacional en el que, a través de un sistema de ecuaciones diferenciales, se exploran procesos de flujos, niveles y ciclos causales de retroalimentación que, gráficamente, pueden interpretarse como patrones autoorganizados. La dinámica de sistemas, sin embargo, modela un único nivel. No hay un nivel micro en el que se genere interacción, por lo que sería una forma de modelado en la que no puede representarse la emergencia. La simulación basada en agentes, por el contrario, es una forma de simulación en la que hay una representación explícita de los agentes y su interacción con otros agentes o el entorno. Esta característica metodológica permite capturar, en oposición a la dinámica de sistemas, tanto la emergencia como la autoorganización.

¹La noción de emergencia es particularmente intrincada conceptualmente. Normalmente, se define a partir de un conjunto de atributos (por ejemplo, ‘novedad, impredecibilidad, superveniencia, relacionalidad y causalidad descendente’ [48] o ‘novedad radical, coherencia, comportamiento inter niveles, dinamismo y ostensividad’ [49]), que se articulan en varios supuestos de nivel ontológico, epistemológico y metodológico. Si bien no hay una definición monolítica y hay variaciones importantes respecto a sus implicaciones filosóficas, la idea de transición intranivel con algún grado de novedad es, quizá, el rasgo más distintivo.

Además de las características técnicas, la narrativa construida alrededor de los modelos juega un papel fundamental. La dinámica de sistemas y la simulación basada en agentes son técnicas que permiten explorar de manera explícita el proceso que genera los patrones en fenómenos autoorganizados. Hay otros métodos, sin embargo, que han sido usados para estudiar la formación de patrones autoorganizados, pero no dan realmente cuenta de la dinámica que los genera. Las redes sociales son un método que permite estudiar sistemas en términos de agentes y sus relaciones. Muchas veces, los patrones representados con las redes se interpretan en términos de procesos autoorganizados, si bien el método no proporciona una representación explícita del proceso. Será importante para las ciencias sociales analizar todas estas posibilidades metodológicas, teniendo en cuenta ventajas y desventajas. La dinámica puede introducirse fácilmente en un análisis de redes, entre varias alternativas, si el modelo se implementa en una simulación basada en agentes. Dada la diversidad metodológica en ciencias sociales y la influencia mucho más rica del marco de la complejidad en las disciplinas sociales tradicionales, también podría ser interesante explorar formas de integración metodológica, como la combinación de métodos matemáticos o computacionales con métodos cualitativos centrados en el estudio de procesos: métodos histórico-comparativos o el rastreo de procesos.

Un análisis crítico de los diferentes métodos para el estudio de la formación de patrones autoorganizados en sistemas sociales puede también ayudar a avanzar la discusión sobre modelado científico, con relación a conceptos importantes como realismo o simpleza. Los autómatas celulares han sido históricamente una de las herramientas más famosas en el estudio y comprensión de la autoorganización, y la complejidad, en general. Obras clásicas, como la de Mandelbrot [50], ayudaron a identificar el carácter autoorganizativo de los fenómenos complejos. Más recientemente, Wolfram [51] fue más allá, al afirmar que los autómatas celulares son el fundamento para una nueva forma de ciencia. Sin embargo, a pesar del entusiasmo con el que los autómatas son empleados en varias áreas de las ciencias de la complejidad, en ciencias sociales, los autómatas son vistos más como una curiosidad computacional o como un ejercicio de pensamiento, pues las restricciones metodológicas, en términos de tiempo y espacios discretos y reglas simples de interacción, generalmente son consideradas muy fuertes para la comprensión de fenómenos sociales, en los que intervienen agentes con complejas estructuras cognitivas intrincadas y contextos complejos de interacción.

Es posible que la renuencia a usar cierto tipo de modelos se deba, en parte, a una limitada comprensión de las posibilidades y restricciones de las diferentes herramientas metodológicas que se han popularizado dentro del marco de la complejidad. No es claro de qué forma, ni hasta qué punto, diferentes métodos puedan capturar las intuiciones y creencias más importantes sobre la ontología de fenómenos sociales complejos. El modelo de Schelling, por ejemplo, es un autómata celular cuyos resultados han sido confirmados por diferentes replicaciones y extensiones que han incluido una cantidad mucho mayor de información empírica [28], [32]. Si bien el modelo original es extremadamente sencillo, es útil porque captura el mecanismo subyacente de asimetría espacial, que es el mismo con el que operan modelos mucho más robustos e intrincados de segregación espacial. No solamente es la regularidad con la que los resultados se confirman, sino también el carácter contraintuitivo de estos resultados iniciales.

El modelo de Schelling mostró que la segregación espacial puede ocurrir en poblaciones con opiniones moderadas con respecto a la segregación. A pesar de sus limitaciones para generar pre-

dicción y control, el modelo influyó significativamente la discusión sobre políticas residenciales, dado que permite entender de manera sencilla el funcionamiento de un fenómeno social complejo. La utilidad de un modelo, por su carácter contextual y subjetivo, está ligada más a la satisfacción de los objetivos establecidos para su diseño, operación y comunicación, que a la capacidad de representar robusta y fidedignamente un fenómeno de interés [52]. Una representación realista solo es necesaria para lograr ciertos objetivos, como la predicción, pero no todos. Esto es algo en lo que las ciencias sociales, y quizá también las ciencias de la complejidad, tienen que avanzar un poco más. Una noción, hasta cierto punto, positivista del modelado todavía domina los supuestos respecto a los criterios con los que se juzga si un modelo es bueno [25].

Las herramientas computacionales, que juegan un rol clave en las ciencias de la complejidad, también son interesantes porque muestran las limitaciones del intelecto humano, incluso cuando existen altos niveles de experticia. En principio, podría parecer sorprendente que la estrategia *tit-for-tat* haya resultado ganadora en el segundo torneo realizado por Axelrod, dado que los participantes contaban con los resultados del primer torneo. Sin embargo, si se tiene en cuenta la cantidad de información que los expertos habrían tenido que procesar para evaluar la calidad de sus estrategias, el resultado es, en parte, comprensible. A pesar de que la teoría de juegos precede la simulación de Axelrod por varias décadas, nadie había explorado las condiciones del surgimiento del comportamiento cooperativo en juegos iterados, debido a las limitaciones en computación que tienen los seres humanos. Sería difícil para alguien sin la ayuda de un computador explorar la gran cantidad de posibilidades que pueden darse en términos estratégicos, dependiendo de las características estructurales del juego, y prever que, en un juego iterado, la emergencia de la cooperación puede ser un resultado natural de la interacción [53].

La relación entre la ontología de los procesos sociales autoorganizados y su modelado es, quizá, uno de los interrogantes más importantes mirando hacia el futuro. Históricamente, se ha considerado que la complejidad de las sociedades humanas está ligada a la complejidad cognitiva (e.g. [54]) o comunicativa (e.g. [55]) de los seres humanos. Sin embargo, como se discutió anteriormente, los modelos de Schelling y Axelrod, entre otros, se han convertido en paradigmáticos porque el nivel de realismo de un modelo no necesariamente determina su utilidad. En parte, esto se debe a que las herramientas metodológicas tradicionales no permitían comprender adecuadamente el efecto de la interacción que, por lo que han mostrado los diferentes desarrollos en las ciencias de la complejidad, es clave para la comprensión de la emergencia y la autoorganización. Al mismo tiempo, también será necesario que los científicos sociales reevalúen la necesidad de que los modelos representen fidedignamente la realidad. Modelos de mercados financieros utilizando agentes sin inteligencia, por ejemplo, han logrado reproducir varias de las dinámicas más importantes de estos mercados [56], lo que lleva a la pregunta sobre qué es, con certeza, metafísicamente importante en estos fenómenos. Si las características cognitivas y comunicativas de los seres humanos juegan un rol menos importante del que normalmente se les atribuye en procesos de autoorganización, sería necesario reevaluar los principios filosóficos con los que operan varios de los métodos de investigación en ciencia social.

6. Conclusiones

La formación de patrones ha sido identificada como una de las propiedades más importantes de los fenómenos complejos autoorganizados. Este texto exploró críticamente este concepto para el caso de las ciencias sociales, bajo la creencia de que hay, al mismo tiempo, desarrollos teórico-metodológicos de las ciencias de la complejidad que no se han transferido a la ciencia social tradicional y preguntas relacionadas con la autoorganización en sistemas sociales complejos que no se han respondido dentro del marco de las ciencias de la complejidad. Para esto, la segunda sección discutió la relación entre los conceptos autoorganización y complejidad en ciencias sociales. Se afirmó que, dado que las ciencias de la complejidad están poco integradas teóricamente y su agenda filosófica es relativamente exclusiva, la conceptualización de la noción de autoorganización dentro del marco de la complejidad está fragmentada, pero es, al mismo tiempo, poco conocida fuera de este marco.

Para ejemplificar esta afirmación se discutió la formación de patrones desde tres aspectos diferentes. En el primer caso, se analizó en qué se enfocan los investigadores cuando identifican un sistema complejo autoorganizado. La literatura muestra gran variabilidad vinculando los patrones en fenómenos sociales complejos con diversos elementos, como la estructura, la dinámica, el fenómeno o su reconstrucción empírica. Para el caso de las ciencias sociales hay una tipología adicional, relacionada con la cuestión de si el patrón está vinculado con agentes y acciones o con elementos externos. El análisis presentado muestra que los patrones autoorganizados no pueden asociarse unívocamente con alguno de los elementos de las diferentes tipologías. Sugiere, sin embargo, que la forma en que se identifiquen los patrones tiene implicaciones importantes sobre la forma en que los patrones son conceptualizados metafísicamente.

La cuarta sección exploró algunas de estas implicaciones ontológicas. Mostró, inicialmente, que la manera como se respondan preguntas ontológicas sobre qué es un patrón en un fenómeno autoorganizado depende, primero, del área de estudio y su tradición teórico-metodológica particular y, segundo, de los objetivos del modelo y la perspectiva del investigador. En lo que se refiere al área de estudio, si bien hay aspectos ontológicos transversales dentro del marco de la complejidad, todavía existe un alto nivel de especificidad. En ciencias sociales, se afirmó, la discusión sobre ‘agencia’ es mucho más elaborada que en otras áreas, pues conecta con los desarrollos de disciplinas como la psicología y la filosofía. Frente a la función del modelo y la perspectiva del investigador se sugirió que la autoorganización es una propiedad que depende de dos aspectos: la granularidad y los niveles analizados, ya que un fenómeno puede organizarse en unos aspectos, pero desorganizarse en otros, y de la función que se le adscriba al fenómeno, pues esa función dará pautas sobre a cuáles elementos prestarle más atención. En el caso de las ciencias sociales, además, la función también puede ser creada, percibida y cambiada por los agentes.

La última sección estudió de qué manera las cuestiones ontológicas se manifiestan durante el proceso de modelado, dado el enfoque mayormente práctico de las ciencias de la complejidad. Se discutió, por un lado, cómo las características técnicas y la narrativa generada alrededor de un cierto tipo de modelo permite instanciar de maneras particulares intuiciones o supuestos ontológicos sobre lo que es un fenómeno autoorganizado y, por el otro, cómo una reflexión crítica sobre las ventajas y desventajas de los diferentes métodos popularizados dentro del marco de la complejidad

puede ayudar a construir una mejor ontología de lo social, con relación a los conceptos de interacción y proceso y a la práctica general de modelado científico.

Las tres preguntas abarcadas en el texto muestran que, si bien dentro del marco de la complejidad hay un aparato teórico-metodológico parcialmente desarrollado para el estudio de la autoorganización, junto con varios ejemplos empíricos que confirman la aplicabilidad de este marco, hay aspectos de los sistemas sociales complejos que son pobremente abarcados por este aparato general de la complejidad. Varios de estos aspectos no se han discutido dentro de las ciencias de la complejidad porque son exclusivos de las ciencias sociales, otros no han sido completamente analizados dada la novedad histórica de los estudios en complejidad social. Es probable que, para responder satisfactoriamente estos interrogantes sobre fenómenos sociales autoorganizados, sea necesario un incremento en la fertilización cruzada entre ciencias de la complejidad y ciencias sociales tradicionales. Para esto, hay varios retos que deben superarse, como que la mayor parte de la discusión sobre autoorganización en ciencias sociales tradicionales no use el término ‘autoorganización’ [14] o que mucha de la producción sobre complejidad social no permee las ciencias sociales tradicionales [57]. Si bien estos retos suponen una cantidad significativa de trabajo, es claro que el desarrollo potencial, tanto en teoría como en métodos, es incentivo suficiente para los investigadores en ambos bandos se esfuercen por entablar un diálogo.

Una mayor fertilización cruzada con diversas ramas de la ingeniería también podría tener un efecto importante en el acercamiento a fenómenos sociales autoorganizados. Como se mencionó antes, en parte, la posibilidad de estudiar ciertos fenómenos sociales depende de las características técnicas de las herramientas de modelado. Hacia el futuro, por ejemplo, el estudio de la autoorganización social podría beneficiarse significativamente de los progresos en capacidad de computación. Cuanto más robusta sea la infraestructura tecnológica, más diversas las posibilidades de modelado de estos fenómenos. De la misma forma, la epistemología y la ontología en ciencias de la complejidad están fuertemente permeadas por metodología, así que es probable que los avances técnicos tengan, al mismo tiempo, efectos sobre el acercamiento filosófico a estos fenómenos.

Adicionalmente, los desarrollos ingenieriles pueden impactar, directa o indirectamente, las posibilidades de control y cambio de fenómenos sociales autoorganizados. Los desarrollos tecnológicos pueden influir en procesos autoorganizados de tres maneras fundamentales. Inicialmente, es claro que varios fenómenos sociales autoorganizados ocurren en sistemas socio-técnicos. La comunicación humana, por ejemplo, está mediada en la mayoría de los contextos por diversas herramientas tecnológicas, que han cambiado de manera significativa el carácter de estos fenómenos (e.g. [40]). En este primer caso, la tecnologías es medio y recurso en el proceso de autoorganización. Hay una segunda instancia donde la tecnología puede tomar un rol más agencial y articularse de manera directa un proceso autoorganizativo o afectar su función. Los sistemas para el soporte de las decisiones en las empresas, entre otros, son tecnologías que, a través de mecanismos puramente automatizados o híbridos, se articulan en procesos autoorganizativos en varios niveles, con el fin de facilitar el control (e.g. [58]). Finalmente, hay desarrollos en ingeniería que pueden transferirse al terreno de lo social, para facilitar el control y cambio de fenómenos autoorganizados. En algunas ramas de la ingeniería, por ejemplo, se habla de autoorganización guiada, haciendo referencia a mecanismos que permiten, como su nombre lo indica, guiar el proceso de autoorganización hacia ciertos patrones o resultados (e.g. [59]). Estas técnicas, que en ingeniería han sido ampliamente

exploradas, apenas se mencionan en el contexto social. Dada la importancia que el cambio y el control tienen en algunas organizaciones humanas, sería interesante explorar qué tan efectivas pueden resultar estas técnicas en lo social.

Agradecimientos

Agradecimientos a Nelson Gómez por los comentarios a una versión anterior de este artículo.

Referencias

- [1] N. Gilbert, D. Anzola, P. Johnson, C. Elsenbroich, T. Balke, and O. Dilaver, “Self-Organizing Dynamical Systems,” in *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, J. Wright, Ed. Oxford: Elsevier, 2015 ↑. [85](#), [86](#), [92](#)
- [2] G. Kirk, “Natural Change in Heraclitus,” *Mind*, vol. 60, no. 237, pp. 35–42, 1951. <https://doi.org/10.1093/mind/LX.237.35> ↑. [86](#)
- [3] E. Keller, “Organisms, Machines, and Thunderstorms: A History of Self-Organization, Part One,” *Historical Studies in the Natural Sciences*, vol. 38, no. 1, pp. 45–75, 2008. <https://doi.org/10.1525/hsns.2008.38.1.45> ↑. [86](#)
- [4] —, “Organisms, Machines, and Thunderstorms: A History of Self-Organization, Part Two. Complexity, Emergence, and Stable Attractors,” *Historical Studies in the Natural Sciences*, vol. 39, no. 1, pp. 1–31, 2009 <https://doi.org/10.1525/hsns.2009.39.1.1> ↑. [86](#)
- [5] W. Ashby, “Principles of the Self-Organizing Dynamic System,” *The Journal of General Psychology*, vol. 37, pp. 125–128, 1947 <https://doi.org/10.1080/00221309.1947.9918144> ↑. [86](#)
- [6] J. Miller and S. Page, *Complex Adaptive Systems*. New Jersey: Princeton University Press, 2007 ↑. [87](#)
- [7] M. Mitchell, *Complexity: A Guided Tour*. Oxford: Oxford University Press, 2009 ↑. [87](#), [91](#)
- [8] P. Davidsson, F. Klügl, and H. Verhagen, “Simulation of Complex Systems,” in *Springer Handbook of Model-Based Science*, L. Magnani and T. Bertolotti, Eds. Berlin: Springer, 2017 ↑. [87](#), [93](#)
- [9] P. Coveney and R. Highfield, *Frontiers of Complexity: The Search for Order in a Chaotic World*. New York: Ballantine Books, 1996 ↑. [87](#)
- [10] M. Reed and D. Harvey, “The New Science and the Old: Complexity and Realism in the Social Sciences,” *Journal for the Theory of Social Behaviour*, vol. 22, no. 4, pp. 353–380, 1992 <https://doi.org/10.1111/j.1468-5914.1992.tb00224.x> ↑. [87](#)
- [11] J. Urry, *Global Complexity*. London: Blackwell, 2003 ↑. [87](#)
- [12] G. Delanty, “The Foundations of Social Theory,” in *The New Blackwell Companion to Social Theory*, B. Turner, Ed. London: Wiley-Blackwell, 2009 ↑. [87](#)
- [13] G. Mobus and M. Kalton, *Principles of Systems Science*. Berlin: Springer, 2015 <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1920-8> ↑. [87](#)
- [14] D. Anzola, P. Barbrook-Johnson, and J. Cano, “Self-Organization and Social Science,” *Computational and Mathematical Organization Theory*, vol. 23, no. 2, pp. 221–257, 2017 <https://doi.org/10.1007/s10588-016-9224-2> ↑. [87](#), [94](#), [95](#), [99](#)
- [15] C. Cioffi-Revilla, *Introduction to Computational Social Science*. Berlin: Springer, 2016 ↑. [87](#)
- [16] K. Mainzer, *Thinking in Complexity*. Berlin: Springer, 2007 ↑. [87](#)
- [17] P. Cilliers, *Complexity and Postmodernism*. London: Routledge, 1998 ↑. [87](#)
- [18] D. Byrne, *Complexity Theory and the Social Sciences*. London: Routledge, 1998 ↑. [88](#)
- [19] R. Anderson, B. Crabtree, D. Steele, and R. McDaniel, “Case Study Research: The View From Complexity Science,” *Qualitative Health Research*, vol. 15, no. 5, pp. 669–685, 2005 <https://doi.org/10.1177/1049732305275208> ↑. [88](#)
- [20] J. Martin, *The Explanation of Social Action*. Oxford: Oxford University Press, 2011 ↑. [88](#)
- [21] L. Udehn, *Methodological Individualism. Background, History and Meaning*. London: Routledge, 2001 ↑. [88](#)

- [22] A. Flache, M. Mäs, T. Feliciani, E. Chattoe-Brown, G. Deffuant, S. Huet, and J. Lorenz, “Models of Social Influence: Towards the Next Frontiers,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 20, no. 4, 2017 ↑. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/20/4/2.html> 89
- [23] R. Hegselmann and U. Krause, “Opinion Dynamics and Bounded Confidence: Models, Analysis and Simulation,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 5, no. 3, 2002 ↑. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/3/2.html> 89, 90
- [24] T. Schelling, “Dynamic Models of Segregation,” *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, no. 2, pp. 143–186, 1971 <https://doi.org/10.1080/0022250X.1971.9989794> ↑. 89, 90
- [25] D. Anzola, “The Philosophy of Computational Social Science,” Ph.D. dissertation, Department of Sociology, University of Surrey, UK, 2015 ↑, uRL: <http://epubs.surrey.ac.uk/id/eprint/808102>. [Online]. Available: <http://epubs.surrey.ac.uk/id/eprint/808102> 89, 92, 93, 97
- [26] U. Wilensky, *NetLogo Segregation Model*. [Computer software]. Evanston: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, 1997 ↑. [Online]. Available: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Segregation> 90
- [27] —, *NetLogo*. [Computer software]. Evanston: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, 1999 ↑. [Online]. Available: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> 90
- [28] M. Fossett and D. Dietrich, “Effects of City Size, Shape, and Form, and Neighborhood Size and Shape in Agent-Based Models of Residential Segregation: Are Schelling-Style Preference Effects Robust?” *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 36, no. 1, pp. 149–169, 2009 <https://doi.org/10.1068/b33042> ↑. 90, 96
- [29] A. Crooks and C. Castle, “The Integration of Agent-Based Modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation,” in *Agent-Based Models of Geographical Systems*, A. Heppenstall, A. Crooks, L. See, and M. Batty, Eds. Berlin: Springer, 2012 ↑. 90
- [30] R. Axelrod, *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books, 1984 ↑. 90
- [31] —, “Effective Choice in the Prisoner’s Dilemma,” *The Journal of Conflict Resolution*, vol. 24, no. 1, pp. 3–25, 2009 ↑. 90
- [32] E. Bruch and R. Mare, “Segregation Dynamics,” in *The Oxford Handbook of Analytical Sociology*, P. Hedström and P. Bearman, Eds. Oxford: Oxford University Press, 2009 ↑. 91, 96
- [33] J. Skår, “Introduction: Self-Organization as an Actual Theme,” *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering sciences*, vol. 361, no. 1807, pp. 1049–1056, 2003 ↑. 91
- [34] C. Maldonado, “Transformación de la no-Complejidad a la Complejidad,” *Ingeniería*, vol. 21, no. 3, pp. 411–426, 2016 ↑. 91
- [35] P. Suppes, “Models of Data,” in *Logic, Methodology, and Philosophy of Science*, E. Nagel, P. Suppes, and A. Tarski, Eds. Stanford: Stanford University Press, 1962 ↑. 91
- [36] M. Morrison, *Reconstructing Reality*. Oxford: Oxford University Press, 2015 <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199380275.001.0001> ↑. 91
- [37] D. Gooding, “Visualisation, Inference and Explanation in the Sciences,” in *Multidisciplinary Approaches to Visual Representations and Interpretations*, G. Malcolm, Ed. London: Elsevier, 2004 ↑. 92
- [38] K. Bailey, *Social Entropy Theory*. Albany: State University of New York Press, 1990 ↑. 92
- [39] S. Galam, *Sociophysics*. New York: Springer, 2012 <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2032-3> ↑. 92
- [40] K. Zhao, M. Karsai, and G. Bianconi, “Entropy of Dynamical Social Networks,” *PLoS ONE*, vol. 6, no. 12, p. e28116, 2011 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028116> ↑. 92, 99
- [41] N. Gilbert, “When Does Social Simulation Need Cognitive Models?” in *Cognition and Multi-Agent Interaction*, R. Sun, Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2006 ↑. 93
- [42] G. Anscombe, “Causality and Determination,” in *Causation*, E. Sosa and M. Tooley, Eds. Oxford: Oxford University Press, 1993 ↑. 93
- [43] E. Chattoe-Brown, “Why Sociology Should Use Agent Based Modelling,” *Sociological Research Online*, vol. 18, no. 3, 2013 ↑. [Online]. Available: <http://www.socresonline.org.uk/18/3/3.html> 93
- [44] C. Gershenson and F. Heylighen, “When Can We Call a System Self-Organizing?” in *Advances in Artificial Life. ECAL 2003. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2801. Berlin: Springer, 2003 ↑. 94
- [45] L. Bohórquez Arévalo, “La Comprensión de las Organizaciones Empresariales y su Ambiente como Sistemas de Complejidad Creciente: Rasgos e Implicaciones,” *Ingeniería*, vol. 21, no. 3, pp. 363–377, 2016 ↑. 94
- [46] F. Solt, “Economic Inequality and Democratic Political Engagement,” *American Journal of Political Science*, vol. 52, no. 1, pp. 48–60, 2008 <https://doi.org/10.1111/j.1540-5907.2007.00298.x> ↑. 94
- [47] D. McAdam, S. Tarrow, and C. Tilly, *Dynamics of Contention*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001

- <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805431> ↑. 94
- [48] R. Franciscotti, “Emergence,” *Erkenntnis*, vol. 67, no. 1, pp. 47–63, 2007 <https://doi.org/10.1007/s10670-007-9047-0> ↑. 95
- [49] J. Goldstein, “Emergence as a Construct: History and Issues,” *Emergence*, vol. 1, no. 1, pp. 49–72, 1999 https://doi.org/10.1207/s15327000em0101_4 ↑. 95
- [50] B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*. New York: Freeman, 1973 ↑. 96
- [51] S. Wolfram, *A New Kind of Science*. New York: Wolfram Media, 2002 ↑. 96
- [52] T. Knuuttila and M. Merz, “Understanding by Modeling: An Objectual Approach,” in *Scientific Understanding*, H. de Regt, S. Leonelli, and K. Eigner, Eds. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2009 <https://doi.org/10.2307/j.ctt9qh59s.11> ↑. 97
- [53] R. Hoffmann, “Twenty Years on: The Evolution of Cooperation Revisited,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 3, no. 2, 2000 ↑. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/3/2/forum/1.html> 97
- [54] G. Mead, *Mind, Self and Society*. Chicago: University of Chicago Press, 1972 ↑. 97
- [55] N. Luhmann, *Social Systems*. Stanford: Stanford University Press, 1995 ↑. 97
- [56] D. Farmer, P. Patelli, and I. Zovko, “The Predictive Power of Zero Intelligence in Financial Markets,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 102, no. 6, pp. 2254–2259, 2005 <https://doi.org/10.1073/pnas.0409157102> ↑. 97
- [57] F. Squazzoni and N. Casnici, “Is Social Simulation a Social Science Outstation? A Bibliometric Analysis of the Impact of JASSS,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 16, no. 1, 2013 ↑. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/1/10.html> 99
- [58] Z. Michalewicz, M. Schmidt, M. Michalewicz, and C. Chiriac, *Adaptive Business Intelligence*. Berlin: Springer, 2007 ↑. 99
- [59] M. Prokopenko, “Modelling Complex Systems and Guided Self-Organisation,” *Journal & Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, vol. 150, no. 1, pp. 104–109, 2017 ↑. 99

David Anzola

Sociólogo, Universidad del Rosario. PhD en sociología, Universidad de Surrey. Profesor principal de la Escuela de Administración de la Universidad del Rosario y miembro del Centro de Innovación, donde realiza estudios sobre metodologías sociales computacionales, particularmente simulación basada en agentes, complejidad y filosofía de las ciencias.

Correo electrónico: david.anzola@urosario.edu.co