

Los modelos basados en agentes y la ciencia de las consecuencias inintencionadas de la acción

Agent Based Models and the Science of Unintended Consequences of Social Action

Francisco Linares

Palabras clave

- Ciencia Social
Generativa
- Desigualdades educativas
 - Mecanismo explicativo
 - Modelo ABM
 - Principio de acción
 - Simulación social
 - Sociología analítica

Key words

- Generative Social
Science
- Educational Inequalities
 - Explanatory Mechanism
 - ABM Model
 - Principle of Action
 - Social Simulation
 - Analytical Sociology

Resumen

El propósito de este artículo es defender la tesis de que los modelos basados en agentes (ABMs) permiten abordar solventemente el problema del vínculo micro-macro en las ciencias sociales. El argumento se desarrolla en cuatro etapas: en primer lugar, se sostiene que las CC.SS. requieren una teoría de la acción construida sobre un mecanismo explicativo concreto, denominado «principio de acción». Seguidamente se expone cómo, en el ámbito de la sociología, el vínculo micro-macro se ha teorizado, en buena medida, siguiendo un modelo que puede denominarse «transición interaccionista». En tercer lugar se muestra que los ABMs se ajustan a las propiedades del modelo de transición interaccionista, a la vez que le aportan mecanismos explicativos específicos. Finalmente, el argumento se ilustra mediante el caso del análisis de la reproducción social de las desigualdades educativas.

Abstract

The aim of this article is to defend the thesis that agent-based models (ABMs) permit us to successfully address the problem of the micro-macro connection in the social sciences. The argument is developed in four stages: First, we argue that the social sciences requires a theory of action constructed over a concrete explanatory mechanism, referred to as a “principle of action”. Following, we examine how the micro-macro connection has often been theorised in sociology using what can be referred to as an “interactionist transition model”. Thirdly, we show that ABMs fit the properties of the interactionist transition model, while contributing specific explanatory mechanisms. Lastly, the argument is illustrated through an analysis of the social reproduction of educational inequalities.

Cómo citar

Linares, Francisco (2018). «Los modelos basados en agentes y la ciencia de las consecuencias inintencionadas de la acción». *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 162: 21-38. (<http://dx.doi.org/10.5477/cis/reis.162.21>)

La versión en inglés de este artículo puede consultarse en <http://reis.cis.es>

Francisco Linares: Universidad de La Laguna | flinares@ull.edu.es

INTRODUCCIÓN¹: ACCIONES INDIVIDUALES Y PATRONES COLECTIVOS

El problema de definir satisfactoriamente la sociología es bien conocido. Una parte de la dificultad reside en el hecho de que los sociólogos estudian una amplísima variedad de fenómenos. Con todo, difícilmente se discutirá que la investigación sociológica se nutre de preguntas como:

- ¿Por qué los espacios residenciales están socialmente diferenciados, en función de características como la renta o la etnia?
- ¿Por qué la distribución de reconocimiento social demuestra una profunda asimetría?
- ¿Por qué los individuos procedentes de distintos grupos sociales consiguen logros educativos desiguales?

Estas (y otras) preguntas que llaman la atención del sociólogo tienen una característica en común: presuponen la existencia de una regularidad. El interés de la pregunta no reside en si Fulanito tiene más o menos rendimiento que Menganita sino en que puede observarse, y describirse estadísticamente, que los individuos de una categoría *regularmente* tienen mejores resultados que los de otra. Esto no es necesariamente cierto para todos y cada uno de los individuos, pero es cierto para el *conjunto de la población*. Es la existencia de estas regularidades, que adoptan la forma de tasas, diagramas de barras, grafos o coeficientes de asociación entre va-

riables (entre otros), la que justifica la investigación sociológica, ya que constituyen sus *explananda* típicos.

Estos *explananda* tienen dos propiedades básicas que es necesario subrayar. La primera es que son fruto de las acciones humanas. Una tasa de suicidio, de fecundidad, de militancia política, de uso de un cierto conjunto de palabras, o de asistencia a servicios religiosos, es el resultado de acciones individuales. El hecho de que los individuos protestantes se suiciden con más frecuencia que los católicos no ofrece, por sí, una explicación del suicidio; al contrario, constituye un *explanandum* sociológico en sí mismo, un patrón identificable cuya explicación es problemática. Este rasgo, obviamente, está intrínsecamente relacionado con una tesis básica sobre la ontología del mundo social: si bien la realidad social puede observarse desde distintos niveles de agregación (individuos, grupos, organizaciones, etc.), el único elemento con eficacia causal son las acciones individuales. Prescindir de esta tesis reduccionista significaría asumir la ininteligible posición de que las tasas de natalidad, los niveles de desigualdad o los equilibrios de poder se producen a sí mismos o se producen los unos a los otros².

La segunda propiedad es que estos patrones que caracterizan al conjunto son, con alta frecuencia, fruto de acciones intencionadas; pero no un resultado intencionado de las mismas. Los individuos actuamos corrientemente con algún grado de intencionalidad, pero esto *no* significa que el resultado de nuestras acciones sea fruto de una planificación o diseño racional. Los motivos individuales «explican» las acciones de cada individuo, pero el resultado agregado no tiene por qué corresponderse con, ni puede

¹ Agradezco a dos evaluadores anónimos de la *REIS* sus detallados comentarios, que han permitido mejorar sensiblemente el manuscrito original. Los defectos que permanecen son responsabilidad única del autor. El presente trabajo se ha desarrollado en el marco de un Proyecto I+D+I con referencia CSO2012-31401 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) dentro de la convocatoria «RETOS» del Plan Nacional de I+D+i.

² Por supuesto, esta tesis tiene una larga tradición en las ciencias sociales. La última defensa autorizada de la misma puede hallarse en la obra reciente de John Goldthorpe (2016).

interpretarse directamente a la luz de, los motivos individuales. Básicamente esto significa que, en términos generales, los hechos que interesan al sociólogo tienen en común la característica de ser resultados *inintencionados* de acciones intencionadas³ (Merton, 1936; Portes, 2000).

Siguiendo a Merton, en adelante se dará por sentado que la tarea de un sociólogo consiste en obtener «proposiciones lógicamente interconectadas y empíricamente confirmadas acerca de la estructura social y su cambio, la conducta del hombre dentro de la estructura y las consecuencias sociales de esa conducta» (Merton, 1992a: 79). Por otra parte, sostengo que las estrategias más adecuadas para emprender esta tarea giran en torno a tres conceptos que responden a las distintas problemáticas teóricas que hay que abordar para realizar solventemente la misma. Estos conceptos son el de *mecanismo causal*, el de *modelo ABM* y el de *ciencia social generativa*.

En definitiva, el objetivo de este artículo es argumentar que la espinosa cuestión de la relación entre las acciones individuales y sus consecuencias agregadas, lo que se ha denominado el problema del vínculo micro-macro, puede abordarse satisfactoriamente en el marco de la teoría de los sistemas adaptativos complejos, con el uso de modelos computacionales. Es más, sostengo que las explicaciones producidas por este método pueden mejorar las explicaciones de diversos fenómenos sociales ofrecidas hasta ahora.

En adelante, el artículo procede como sigue: en primer lugar, se ofrece una breve exposición de la estrategia epistemológica para producir explicaciones causales en las ciencias sociales, y del tipo de teoría de la acción adecuada en el marco de esta estra-

tegia. En segundo lugar, se explican los problemas de la teorización del vínculo entre los niveles micro y los niveles macro en el campo de la sociología. En la tercera sección se demuestra que los modelos basados en agentes permiten realizar una ciencia social que podemos denominar generativa, y permiten resolver el problema planteado en la sección anterior. Seguidamente se ilustra este logro con el modelo de Gianluca Manzo (2013) de la desigualdad en la estructura de oportunidades educativas. El ejemplo no está elegido al azar, ya que se trata no solo de un problema típico de las ciencias sociales, sino también de un *explanandum* en el que la relación entre lo micro y lo macro ha resultado opaca para buena parte de la literatura sociológica. El artículo termina con algunas consideraciones finales sobre el valor de los modelos ABM en la investigación sociológica.

LOS MECANISMOS CAUSALES Y EL PRINCIPIO DE ACCIÓN

La decadencia del modelo nomológico-deductivo defendido por Carl Hempel (1965) durante la segunda mitad del siglo XX dejó un hueco en la epistemología de la ciencia que vino a ocupar un concepto que permitía eludir dos problemas básicos de aquel, la imposibilidad de encontrar leyes necesarias fuera de ámbitos muy restringidos de la ciencia y la necesidad de aportar una narración creíble de cómo es que a una causa le sigue un determinado efecto. El concepto es el de *mecanismo causal*, que en las ciencias sociales, y específicamente en la sociología, puede rastrearse en las obras de Boudon (1981), Bunge (1999), Elster (1990), Stinchcombe (1991) y Hedström y Swedberg (1996)⁴. La teorización mediante mecanismos desplaza el foco de

³ Las referencias a Merton y Portes son, por así decir, obligadas. La tradición intelectual por supuesto es extensísima, y no es objeto de este trabajo su revisión.

⁴ Una revisión del significado y el uso del concepto en las ciencias sociales puede hallarse en Hedström y Ylikoski (2010).

atención desde la búsqueda de leyes *necesarias* (bien en su versión de regularidades universales, o en su versión, más factible, de regularidades probabilísticas) a la búsqueda de entidades y procesos básicos que son *suficientes* (esto es, tienen *suficiencia generativa*) para producir un cierto resultado. En las ciencias sociales las entidades y procesos básicos son los individuos y las relaciones que estos mantengan entre sí, puesto que, como se señaló más arriba, la vida social no puede ser otra cosa que el fruto de sus acciones.

Buena parte de la indagación teórica y la investigación empírica en las distintas ciencias sociales se sostiene sobre la premisa de que dicha acción (la acción humana) es intencionada. Si bien existen otras formas de acción, como la ritual o la guiada por emociones, la mayor parte de los hechos se interpretan bajo la premisa de que los individuos son capaces de proponerse fines y emprender acciones *para* perseguir esos fines o propósitos. El referente clásico de esta concepción es, desde luego, Max Weber (1944, 1984), aunque, como ha sostenido recientemente Duncan Watts (2015), la «teoría de la acción racionalizable» (a saber, la teoría de que se pueden encontrar razones para explicar las acciones de los individuos atendiendo a sus propósitos y circunstancias) permea, en sus distintas versiones, prácticamente toda la teoría sociológica desde Parsons hasta Bourdieu.

El esquema básico de esta teoría de la acción se conoce como «silogismo práctico» (von Wright, 1979) y adopta la siguiente forma:

- a) *El agente i desea producir el resultado O.*
- b) *El agente i conoce que en las condiciones C la acción A_1 produce el resultado O.*
- c) *El agente i emprende la acción A_1 .*

Una versión moderna de este silogismo es la teoría de la racionalidad ordinaria de Raymond Boudon (1996). El sociólogo francés sostiene que las acciones de los individuos pueden explicarse a través de las *razones*

(fundadas o infundadas) que los individuos tienen para actuar. Estas razones tienen que ver con creencias de diverso tipo (creencias sobre la realidad, sobre lo que es moralmente deseable, etc.) que los individuos comparten y que forman parte de lo que suele denominarse «cultura». Así, por ejemplo, los famosos indios hopi descritos por Durkheim en *Las formas elementales de la vida religiosa* participan en la danza de la lluvia por razones que van más allá de la utilidad de la ceremonia para hacer caer la lluvia.

Como sostienen los críticos de Boudon, dicha teoría desde luego puede «explicarlo» todo, *a posteriori* (Opp, 2014). Este problema no es baladí. Resulta evidente que, incluso en un conjunto muy restrictivo de condiciones C, el agente *i* habitualmente tiene más de una opción (A_1, A_2, \dots, A_n) para actuar⁵. Esto implica que, si ha de tener valor explicativo/predictivo, una teoría de la acción intencionada necesariamente debe contener un mecanismo que pueda dar cuenta de por qué el agente *i* emprendió la acción A_1 , en lugar de sus alternativas. Este mecanismo es, además, un requisito lógico para crear una teoría deductiva que engarce las acciones de cada agente con las de los demás. Y una teoría deductiva que engarce las acciones de cada agente con las de los demás es, a su vez, un requisito lógico para explicar causalmente los *explanda* típicos de la sociología.

En las ciencias sociales se han usado, principalmente, tres mecanismos o *principios de acción*: el principio de maximización de la utilidad, el principio del refuerzo y el principio de la imitación. Es conocido que el primero de ellos, la «elección racional», ha sido el usado más ampliamente, dado que es el principio motor de la teoría micro-económica, de buena parte de la ciencia política, y de una parte de la sociología (expresamente

⁵ La misma crítica se extiende al modelo DBO (*desires, beliefs and opportunities*) defendido por Hedström (2005).

en obras como la de James S. Coleman, 2011). También es conocido que este principio se ha cuestionado fuertemente en dos direcciones: en primer lugar, la literatura experimental relacionada con los sesgos en la elección ha demostrado que las decisiones de los individuos se alejan en su grado de racionalidad del modelo estándar (Camerer, 2003), acercándose al tipo de racionalidad limitada que ya defendiera Herbert Simon (1982). En segundo lugar, otro tipo de literatura experimental, la que gira en torno al análisis del juego del ultimátum (Güth *et al.*, 1982) o variantes del mismo, ha demostrado que las decisiones de los agentes responden a una pluralidad motivacional habitualmente no reconocida en el modelo de actor predominante en los textos de microeconomía, como pueda ser la interiorización de normas de equidad u otras motivaciones denominadas «prosociales».

En última instancia, los economistas experimentales parecen haber «descubierto» la distinción de Max Weber entre racionalidad con respecto a valores (*Wertrationalität*) y racionalidad con respecto a fines (*Zweckrationalität*); y se enfrentan al mismo problema al que hace frente un sociólogo conocedor de la tipología weberiana: nadie sabe, *ex ante*, cuándo opera un tipo, cuándo opera otro o cuando operan los dos simultáneamente. La mayor parte de los teóricos sociales sencillamente optan por una de las dos opciones: o bien creen que los agentes son (principalmente) instrumentales en su acción, o bien creen que son (principalmente) normativos. Esta solución no es, desde luego, la más elegante desde el punto de vista teórico.

Sostengo que estas dificultades se verían sensiblemente reducidas empleando el principio de la «imitación racional» defendido por Peter Hedström (1998), cuyos antecedentes pueden hallarse en los trabajos de Thomas Schelling (1989) y Mark Granovetter (1978). Este mecanismo implica que para tomar nuestra decisión prestamos atención al comportamiento de los individuos en nuestro en-

torno, que ya han tomado una decisión al respecto previamente. Tal heurístico actúa sobre nuestras creencias: si una opción es relativamente más común que las demás, ese hecho alimenta la creencia de que, al menos, no se trata de una mala opción. Esta impulsará nuestra decisión; y la acción que emprendamos, a su vez, servirá de información a otros individuos, reafirmando sus creencias sobre lo adecuado de su comportamiento o impulsándolo a cambiar. Con todo, el mecanismo de imitación no conducirá necesariamente a un punto globalmente óptimo, ya que la copia del comportamiento puede producirse en torno a un óptimo local.

La ventaja heurística de este principio respecto a sus alternativas se fundamenta, al menos, en las siguientes razones:

- 1) Es especialmente adecuado para entornos en los cuales los agentes toman sus decisiones incrustados en una red de relaciones, evitando una visión «atomizada» de la realidad social y, por tanto, resulta muy útil para dar cuenta de los fenómenos sociales en que las acciones de los individuos están sujetas a influencias recíprocas.
- 2) Es compatible con la pluralidad de motivaciones características de las acciones humanas. Es más, es un supuesto teórico igualmente útil tanto para la racionalidad instrumental como para la racionalidad axiológica, ya que tanto la valoración de lo instrumentalmente satisfactorio como la de lo normativamente correcto frecuentemente depende de que ese comportamiento se halle lo suficientemente generalizado en la población (un restaurante al que no va nadie no es una opción satisfactoria y una norma social como «debes guardar cola al subir al autobús» tiene que ser cumplida por una proporción significativa de pasajeros para que podamos dar por sentado que tal norma rige en esa situación).

3) No requiere asunciones no realistas sobre las capacidades cognitivas de los individuos, resultando fácilmente implementable en modelos computacionales que, como se verá más adelante, es la herramienta adecuada para la generación de explicaciones basadas en mecanismos causales.

LA TEORIZACIÓN DEL VÍNCULO MICRO-MACRO EN SOCIOLOGÍA

La relación entre una determinada realidad y sus componentes más elementales es uno de los problemas básicos de cualquier disciplina científica, y dista de ser un problema satisfactoriamente resuelto en las ciencias sociales. Se conoce también como problema del vínculo micro-macro, que, frecuentemente (aunque no de forma necesaria), se ha planteado como el problema de la relación entre la *estructura* y la *acción*. Específicamente en el campo del pensamiento sociológico dicha relación se ha teorizado de muy diversas maneras. De acuerdo con Jeffrey C. Alexander y Bernhard Giesen (1987), las estrategias teóricas más importantes son las siguientes:

- Individuos interpretativos crean la sociedad a través de actos contingentes de libertad. Esta es la posición del interaccionismo simbólico, tal y como aparece caracterizado en la obra de Herbert Blumer, y de otros programas de investigación que ponen su énfasis en la construcción intersubjetiva de la realidad. Un ejemplo reciente es la teoría de las cadenas rituales de interacción de Randall Collins.
- Individuos socializados recrean la sociedad a través de actos contingentes de libertad, guiados por una racionalidad limitada. Esta es la posición, por ejemplo, de Robert K. Merton en análisis ya clásicos como «estructura social y anomia» o «la profecía que se autocumple».

- Individuos socializados reproducen la sociedad trasvasando la estructura social al ámbito micro. Esta es la posición propia del funcionalismo estructural y del marxismo estructuralista, en la que los sujetos sencillamente juegan el papel de agentes reproductores del sistema social. Las referencias clásicas son las obras de Talcott Parsons, *The Social System*, y de Louis Althusser, *Ideologie et Appareil Idéologique d'Etat*.

- Individuos racionales crean la sociedad a través de actos contingentes de libertad. Esta es, en líneas generales, la posición de los teóricos del intercambio social y, señaladamente, la de la escuela *rational choice*. Los *Fundamentos de Teoría Social* de James S. Coleman son la expresión más acabada de esta opción.
- Individuos racionales aceptan la sociedad porque esta es su respuesta óptima al entorno social. En este caso se niega la capacidad creativa de los actores sociales, dado que las posibilidades de acción se hallan completamente restringidas. El modelo de la «frustración relativa» de Raymond Boudon encaja en esta descripción (aunque el sociólogo francés desde luego no se identificaría con la misma, y la mayor parte de su obra no encaja en este modelo).

La diversidad de estilos teóricos esconde, sin embargo, una convergencia de principios básicos que es reconocible en, no todas pero sí buena parte de, las escuelas de pensamiento sociológico. Así, el «paradigma» que Peter Berger y Thomas Luckmann (1968: 78-80) esbozan del origen de las instituciones a partir de un proceso de tipificación recíproca de las acciones, en los que A y B (los solitarios pobladores de una isla desierta) se observan, se atribuyen motivos y anticipan mutuamente su conducta, creándose así la oportunidad de «desempeñar "roles" *vis-a-vis* uno del otro», tiene más en común de lo que sugieren los textos estándares

de teoría sociológica con el análisis de Robert K. Merton (1992b: 508) del proceso de discriminación de los trabajadores negros por los sindicalistas blancos, fruto de la consolidación de creencias falsas sobre la realidad enraizadas en las relaciones sociales, en el que «nuestro sindicalista no ve, naturalmente, que él y sus compañeros produjeron los mismos “hechos” que observa».

Y el análisis de George Homans (1970a: 80-82) de los sistemas de intercambio de gestos de aprobación social que perpetúan las normas características de un grupo, en el que se concluye que «cuanto más amplio es el número de miembros que son recompensados, directa o indirectamente, por la participación en el grupo, tanto más amplio es el número de los que se someten a sus normas», tampoco deja de tener un aire de familia con la concepción de Randall Collins (2009: 205-207) de la vida social como una concatenación de rituales de interacción en los que «[l]os individuos con más recursos, ricos en EE [energía emocional] y/o en símbolos, pueden demandar mayores contrapartidas a aquellos con quienes interactúan»; procesos en los que se reafirman los significados de los símbolos de pertenencia a grupos y las diferencias de estatus entre individuos. Igualmente puede sostenerse que todos ellos, a su vez, entroncan en el mismo árbol que la concepción de Pierre Bourdieu (1980) y James S. Coleman (1988) del capital social⁶ como resultado de estrategias de inversión en relaciones sociales que producen obligaciones duraderas, de forma que «la reproducción del capital social presupone un esfuerzo incesante de sociabilidad, una serie incesante de intercambios en los cuales el reconocimiento es indefinidamente afirmado y reafirmado» (Bourdieu, 1986: 250).

Todos estos ejemplos, que pueden estimarse como «representativos» (obviamente no están elegidos al azar) de buena parte de la teoría sociológica producida a lo largo del siglo XX, a pesar de las diferencias en los marcos intelectuales en los que se sitúa cada autor, comparten, pues, una estructura elemental que puede resumirse en los siguientes puntos⁷:

En primer lugar, todos muestran diferencias entre los individuos: algunos participan en la interacción desde su inicio y otros no, algunos tienen una posición más central que otros, algunos tienen más capacidad de ofrecer recompensas que los demás, etcétera. En definitiva, *los sujetos son heterogéneos* y esta heterogeneidad es relevante en todos los procesos.

En segundo lugar, en todos los casos los individuos son *sujetos con propiedad de agencia*, no meros ejecutores de un guion predeterminado, y sus acciones se encadenan unas con otras ramificándose en sus consecuencias.

En tercer lugar, se presumen teorías de la acción que, aun tan diferentes entre sí como lo son la psicología conductista y el análisis fenomenológico, comparten el *distanciamiento con respecto al modelo estándar de actor racional*. Todos los ejemplos aportan una visión de los agentes que toman decisiones guiadas por heurísticos que ahorran energía y tienen un bajo coste computacional.

En cuarto lugar, en todos los casos *el resultado de las interacciones transforma las condiciones iniciales en las que actúan los sujetos*, creando un orden social nuevo o modificando el previamente existente: una vez una rutina ha sido institucionalizada, un símbolo sacralizado, o una norma de conducta sancionada, la rutina, el símbolo o la norma pasan a formar parte

⁶ Como ya observara Portes (1998), el concepto de capital social en las obras de P. Bourdieu y de J. Coleman es muy similar y, a la vez, distante de la tradición encauzada por el politólogo Robert Putnam.

⁷ Con esta afirmación, desde luego, no pretendo reflejar ni el juicio que estos teóricos pudieran tener de sus propias obras, ni el juicio que reconocidos exégetas de la teoría sociológica puedan tener sobre las mismas.

de las condiciones objetivas a las que los sujetos tienen que adaptarse.

Finalmente, en quinto lugar, *para los sujetos es difícil revertir el resultado de sus interacciones*, sea una institución, un ritual o una distribución de obligaciones sociales adquiridas, que por tanto tienden a perpetuarse en el tiempo.

Es muy probable que muchos sociólogos se reconozcan en este paradigma de análisis que, a efectos prácticos, denominaremos «modelo de transición interaccionista». Este modelo tenía, no obstante, una limitación evidente que le impidió (hasta tiempo muy reciente) convertirse en una solución ampliamente aceptada al problema del vínculo micro-macro. La limitación fue señalada muy claramente por George C. Homans en un pequeño tratado de epistemología de las ciencias sociales:

Se dice a menudo que la ciencia social ha sido lenta en progresar porque las variables que integran sus problemas son muchas y no fácilmente controlables. Pero las variables básicas [...] pueden ser pocas. La dificultad no reside en el número de variables, sino en el número de hombres y grupos en cuyas distintas actividades las variables toman diferentes valores. Reside sobre todo en mostrar cómo la conducta de distintos hombres, conducta que ejemplifique las mismas proposiciones generales, se combina a través del tiempo para producir resultados particulares, cuando la conducta pasada afecta a la presente a través de complejas cadenas (Homans, 1970b: 92).

LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE TRANSICIÓN INTERACCIONISTA EN LOS MODELOS ABM

Los modelos computacionales, específicamente los modelos basados en agentes, son la herramienta de análisis apropiada para estudiar sistemas adaptativos complejos (SAC), un concepto derivado de la obra de John Ho-

lland (2004), Robert Axelrod (2003), Josua M. Epstein y Robert Axtell (1996), y otros investigadores de diversas disciplinas vinculados al Instituto Santa Fe, que pretende capturar las propiedades de sistemas constituidos por elementos con capacidad de agencia que se adaptan constantemente a su entorno.

Los SAC son ubicuos en la realidad social, dado que los individuos constantemente tomamos decisiones bajo la influencia de las tomadas por otros individuos. Esto es, adaptamos mutua e incesantemente nuestro comportamiento. Las acciones de aquellas personas a las que nos hallamos vinculados en las redes en las que estamos incrustados afectan nuestras creencias sobre la realidad, nuestras preferencias sobre los cursos de acción a seguir y nuestras opciones disponibles, en un bucle que se retroalimenta incesantemente a sí mismo. Así es cómo se expanden los rumores, se generan modas y se saturan los mercados de trabajo, por poner tres ejemplos típicos. Las ilustraciones del modelo de transición interaccionista mostradas en el epígrafe anterior también son ejemplos obvios de este tipo de procesos.

Los sistemas adaptativos complejos tienen cualidades muy específicas, con implicaciones metodológicas decisivas:

- 1) Los rasgos que caracterizan a estos sistemas aparecen como resultado de un entramado, más o menos extenso y complejo, de interacciones. Así, los patrones colectivos no pueden derivarse directamente de la diversidad y variabilidad de las características de los individuos. Es decir, no hay una conexión evidente entre las propiedades del todo y las propiedades de las partes. Este fenómeno es conocido como *emergencia*.
- 2) Las acciones de los agentes pueden, y suelen, tener *consecuencias no lineales*⁸,

⁸ El concepto de «consecuencia no lineal» puede ilustrarse fácilmente con un estudio clásico sobre *contagio*

características de los fenómenos emergentes (Holland, 1998: 121-122), que se ramifican de forma difícilmente predecible. Esto se aprecia claramente en la existencia de *tipping points* («punto de inflexión», «punto de no retorno» o «punto crítico») que implican que la evolución de ciertas dinámicas sociales puede ser sensible a pequeñas perturbaciones.

- 3) Estos fenómenos son el resultado de *procesos cumulativos*, es decir, procesos en los que las decisiones de los agentes reorientan sobre sí mismos, impulsándoles, como se señaló más arriba, a adaptarse constantemente al entorno.
- 4) Los cambios internos de estos sistemas no suelen ser el resultado de una dirección y planificación centralizada, sino de *dinámicas de autoorganización*. Obviamente ambos fenómenos pueden coexistir, dando lugar a una interacción compleja que normalmente tiene la consecuencia de que las reglas establecidas por el planificador no operan como el planificador esperaba.
- 5) El sistema puede o no alcanzar un estado de *equilibrio*. En algunos casos, el proceso de adaptación mutua conduce a un punto análogo al del equilibrio de Nash en teoría de juegos, en el que ningún agente tiene motivación para cambiar de comportamiento.

- 6) Cuando esto ocurra, con frecuencia se tratará de un óptimo local, no global. Y en este caso una cuestión a examinar es el grado de «resistencia» (*resilience*) de este tipo de estados. Cuando dicho estado no existe, o no es posible alcanzarlo, se observará la aparición de patrones cíclicos que indican la falta de estabilidad en las relaciones existentes entre los agentes.

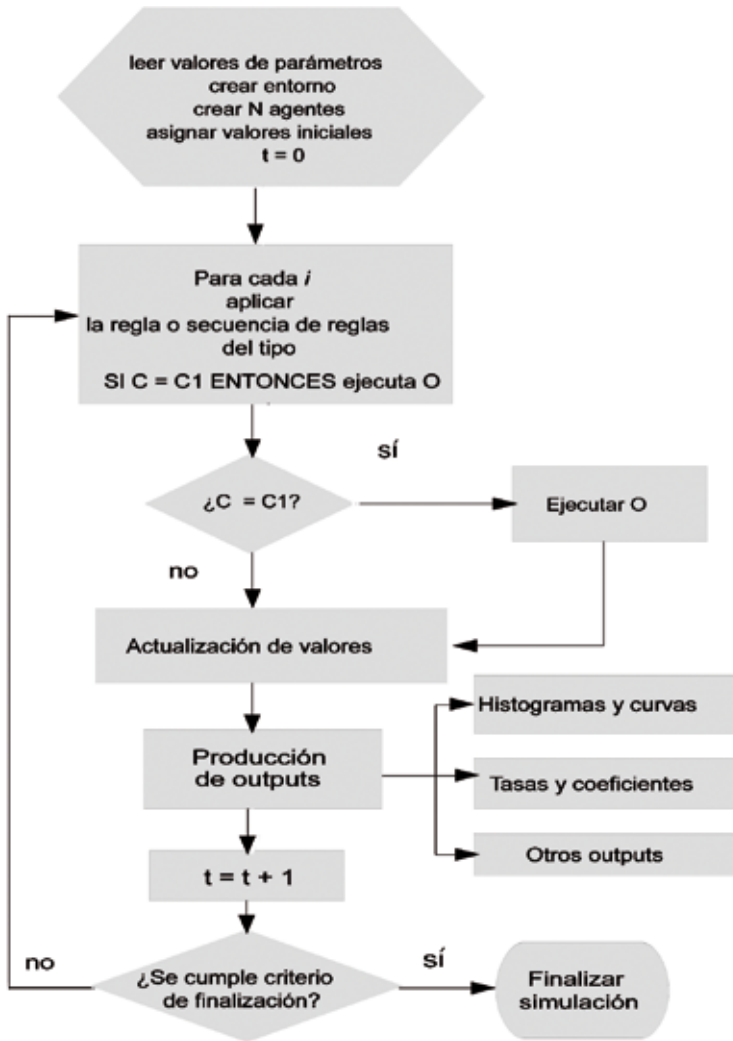
La herramienta de análisis de los SAC, por tanto, debe ser sensible a estas cuestiones. Los modelos analíticos, frecuentemente usados en economía y ciencia política, basados en métodos de optimización no son igualmente útiles en este tipo de sistemas, caracterizados por heterogeneidad de sus componentes, limitaciones de la racionalidad en la toma de decisiones y dinámicas no lineales. Los modelos computacionales basados en agentes, sin embargo, tienen un alto grado de isomorfismo con los SAC.

Un modelo ABM es un programa que codifica información sobre el número de agentes que interactúan, sus características y su entorno; sobre sus reglas de interacción con otros agentes y con el entorno, y sobre las reglas mediante las cuales estas interacciones transforman las características de los propios agentes y del entorno (Gilbert, 2008; Gilbert y Troitzsch, 2006; Squazzoni, 2012)⁹. El diagrama de flujo 1 representa de forma simplificada el funcionamiento de un modelo de simulación ABM.

El procedimiento se inicia con la lectura de los valores de los parámetros establecidos por el investigador; entonces se crean los agentes (que pueden ser de distinto tipo, como, por ejemplo, diversos grupos étnicos, clases sociales o unidades de residencia) y su entorno (físico o social, como redes sociales), y se asignan valores iniciales a sus características (como género, edad, nivel edu-

social, el de Coleman y sus colaboradores sobre la difusión del uso del fármaco «gammanym» entre médicos de una ciudad del Medio Oeste norteamericano (Coleman *et al.*, 1957). Si los doctores tomaran decisiones independientes sería fácil estimar con una ecuación lineal el número de ellos que prescriben el fármaco en un momento t_n a partir de la información registrada en los momentos $t_1, t_2, t_3...$ Sin embargo, estos tomaban sus decisiones bajo la influencia de otros colegas, notablemente aquellos con más prestigio. Esto hace, como muestran Coleman y sus colaboradores, que el proceso de difusión de «gammanym» no siga una lógica lineal (en la que cada individuo contribuiría en la misma proporción a reducir la proporción de la población que no receta el fármaco), sino la de una «bola de nieve» que se describe con una típica curva sigmoideal.

⁹ En castellano consúltese también García-Valdecasas (2014, 2016).

DIAGRAMA DE FLUJO 1. Representación esquemática de un modelo basado en agentes

cativo, etc.); estos valores pueden asignarse según distribuciones estadísticas teóricas (como la normal) o empíricamente contrastadas (como la distribución de edades real de una determinada población). En este punto el modelo constituye una sociedad artificial en un tiempo cero, en el que aún no ha operado ningún mecanismo causal.

Una vez se inicia la simulación, la computadora ejecuta de forma sucesiva las reglas

programadas en cada subrutina para cada uno de los agentes, normalmente construidas con una sintaxis condicional del tipo «*si se da el conjunto de condiciones C entonces ejecuta la orden O*». Al finalizar el bucle, la ejecución de las reglas de actuación habrá producido cambios en las variables estado (características del sistema) y en las variables características de los agentes. Esto se mostrará en una actualización en los valores

de los outputs producidos (determinadas tasas aumentarán, otras disminuirán, ciertos histogramas mostrarán mayor o menor simetría, la convexidad de la curva de Lorenz se acentuará más o menos, etc.).

Con cada reiteración del programa, la ejecución de las mismas reglas de actuación en el entorno recursivamente actualizado, el sistema se aleja progresivamente del estado inicial «no social» y se aproxima de forma sucesiva a un estado nuevo en el que los mecanismos programados en el sistema generan, *in silico*, un conjunto de datos que demostrará un cierto grado de similitud con las descripciones empíricas del sistema real que constituye nuestro objeto de estudio.

El momento en el que la simulación finaliza, bien porque se han cumplido los requisitos teóricos para ello (por ejemplo, que en la sociedad artificial no queden puestos de trabajo vacantes, que la población haya alcanzado su máximo nivel de crecimiento o que todos los agentes hayan finalizado su tránsito por el sistema educativo) o bien porque se ha cumplido alguna regla práctica (habitualmente un número elevado de reiteraciones del programa), es el momento de valorar cuál es el grado de isomorfismo entre el modelo y la realidad. En este sentido, cabe distinguir tres cuestiones distintas.

En primer lugar, es preciso estar seguro de que el modelo funciona como de hecho el analista pretende haberlo programado (la *verificación* del modelo habitualmente requiere un tedioso proceso de detección y corrección de errores de programación), y que además el resultado es robusto ante variaciones (especialmente las variaciones extremas) de los parámetros incluidos en el modelo, lo que se conoce como *análisis de sensibilidad*.

En segundo lugar debe procederse a un proceso de *validación*, esto es, de medir el grado de ajuste a la realidad. Este proceso tiene dos vertientes: la primera, denominada *parametrización*, consiste en asignar a los

parámetros valores que bien son empíricamente conocidos (*calibración empírica*) o bien son seleccionados para optimizar el ajuste del modelo a la realidad. La segunda vertiente es precisamente medir el grado de ajuste. Un procedimiento típico es el de elegir un número de variables relevantes en la descripción del objeto de estudio y comprobar que los valores *reales* de las mismas están dentro del rango de resultados probables del modelo, cuando este se reitera un número muy elevado de veces¹⁰.

Finalmente, aun en el supuesto de que el modelo funcione correctamente y se ajuste a la realidad objeto de estudio, sus resultados deben valorarse con prudencia por una cuestión propia de la metodología de las ciencias sociales: incluso si los mecanismos implementados en el modelo muestran *suficiencia generativa*, nada excluye que otro conjunto de mecanismos alternativo muestre la misma suficiencia (lo que se conoce como realizabilidad múltiple). En este sentido la recomendación al analista es seguir la regla de la navaja de Ockham: tratar de mantener su modelo lo más simple posible.

LA CIENCIA SOCIAL GENERATIVA: EL (DESTACADO) EJEMPLO DE LA REPRODUCCIÓN DE LA DESIGUALDAD EDUCATIVA

Difícilmente se puede explicar qué es la ciencia social generativa con más claridad de lo que ya lo hicieron los pioneros Josua Epstein y Robert Axtell, al finalizar su exposición del modelo Sugarscape¹¹:

¹⁰ Dado que un modelo típico incluye múltiples procesos estocásticos es necesario ejecutar el mismo, con frecuencia, cientos de veces con el fin de conocer cuáles son sus resultados típicos (los valores medios o los más frecuentes, según el caso, de las variables que describen su comportamiento).

¹¹ *Sugarscape* es el nombre del modelo de economía artificial creado por Epstein y Axtell en su *Growing up Artificial Societies* (Epstein y Axtell, 1996).

From an epistemological stand point, what «sort of science» are we doing when we build artificial societies like Sugarscape? Clearly, agent-based social science does not seem to be either deductive or inductive in the usual senses. But then what is it? We think *generative* is an appropriate term. The aim is to provide initial micro-specifications (initial agents, environments and rules) that are sufficient to generate the macrostructure of interest. We consider a given macrostructure to be «explained» by a given micro-specification when the latter's generative sufficiency has been established (Epstein y Axtell, 1996: 177, cursivas añadidas).

En definitiva, el modelo de explicación propuesto por Epstein y Axtell responde a la cuestión del problema de la transición micro-macro, proponiendo una estrategia directamente emparentada con el modelo de transición interaccionista descrito anteriormente: un patrón de comportamiento ha sido explicado en tanto en cuanto es posible mostrar que ciertos mecanismos causales que actúan al nivel micro *generan*, de hecho, tal patrón. El éxito de esta estrategia se sostiene en la técnica de la simulación social, que por primera vez permite abordar el problema señalado por G. Homans: la reconstrucción de cadenas de interacción con miles de eslabones.

Quizá no exista ilustración más convincente del papel que los modelos ABM pueden jugar en la investigación sociológica que la explicación de uno de los patrones empíricos más sistemáticamente contrastados por la investigación aplicada: el de la reproducción de las desigualdades educativas¹².

Efectivamente, desde el famoso «Coleman Report» (Coleman, 1966), reiteradamente se ha comprobado que el nivel educativo alcanzado por un individuo está fuertemente condicionado por el que alcanzaron sus progenitores. De forma extremadamente simplificada, las explicaciones construidas a lo largo del siglo XX gi-

raron en torno a dos grandes alternativas arraigadas en tradiciones teóricas muy distintas.

Por una parte, las teorías centradas en el papel que desempeña la institución escolar en la reproducción de las desigualdades educativas. Estas giran en torno al concepto de capital cultural, su desigual distribución entre clases sociales, y a la premisa de que la institución escolar no es un medio culturalmente neutro, de forma que no todos los alumnos tienen las mismas oportunidades reales de transitar con éxito a través de los distintos niveles educativos. Se conocen, en términos amplios, como teorías de la «reproducción cultural» (Bourdieu y Passeron, 1990).

Por otra parte, las teorías centradas en aquellas características de los individuos que alteran los beneficios y costes relativos a las decisiones de ingresar en niveles sucesivamente más elevados del sistema educativo. Las variables a tener en cuenta en este caso están relacionadas con las habilidades de los individuos y los factores que pueden influir en la valoración del éxito escolar, así como con los costes de oportunidad del tiempo invertido en el sistema educativo. Estas teorías giran en torno al concepto de «capital humano» (Becker, 1993), y en el campo de la sociología se han enmarcado dentro de la tradición *rational choice* (Breen y Goldthorpe, 1997).

El trabajo de Gianluca Manzo (2013), inspirado en la obra seminal de R. Boudon, *L'inégalité des chances* (1973), se distancia tanto de la lógica estructural-funcionalista típica de la primera tradición como de la lógica atomista-utilitarista de la segunda. Su objetivo es presentar «un modelo formal micro-fundamentado de la estructura de desigualdades educativas a nivel macro [de la población francesa] que enmarca las decisiones educativas [de los individuos] como un resultado tanto de evaluaciones subjetivas de habilidades/beneficios como de las presiones de los grupos de iguales» (2013: 47).

Manzo aborda este desafío teórico construyendo un modelo computacional en el que

¹² Otros ejemplos detallados del uso de modelos ABM en sociología pueden encontrarse en Linares (2018).

la probabilidad de que un individuo transite de un nivel a otro del sistema educativo depende no solo de su valoración de habilidades y beneficios, sino también del grado de *homofilia* en sus interacciones en el seno de la red social en la que se halla incrustado, es decir, del grado en que se relaciona con otros similares a él y se ve influido en sus decisiones por las de aquellos.

Su modelo ABM se ancla en los datos de una muestra representativa de la población francesa entre 27 y 65 años, procedentes de una encuesta realizada por un organismo oficial francés (el INSEE) en 2003. Los niveles educativos de los individuos y sus progenitores son codificados según cinco categorías, elaboradas a partir del esquema de Casmin: educación general inadecuadamente completada (grupo 1a), educación elemental (grupo 1bc), educación secundaria básica (grupo 2ab), educación secundaria superior (grupo 2c) y educación terciaria (grupo 3ab). Al cruzar la distribución de niveles educativos de los encuestados con la de niveles educativos alcanzados por sus progenitores se observa la compleja estructura de desigualdad, constituida por 25 tasas (5 x 5), que puede observarse en el gráfico 1.A. En este es fácil apreciar que los vástagos de los individuos con más educación tienen una probabilidad desproporcionadamente mayor de alcanzar el nivel educativo más alto que los vástagos de los individuos con menos educación¹³.

El modelo está constituido por 5.000 agentes artificiales, cada uno de los cuales es asignado a uno de los cinco grupos distintos, g_i , correspondiente al nivel educativo de sus padres, manteniendo las proporcio-

nes de la muestra francesa¹⁴. Cada uno de estos agentes debe decidir si ingresar o no en sucesivos niveles educativos, L_i , desde el primero hasta el quinto. La probabilidad¹⁵ de que un agente decida ingresar en un nivel determinado depende de cuatro factores: en primer lugar los agentes tienen una habilidad cuya media varía en función del grupo de origen (A_{ig}). En segundo lugar, disponen de una estimación del beneficio neto que les reporta la inversión educativa, cuya media también varía en función del grupo de origen (B_{ig}). En tercer lugar, un término multiplicativo formaliza la influencia entre habilidades y beneficios que se manifiesta en la incidencia que la *percepción* optimista o pesimista de las habilidades propias puede tener en la *percepción* del beneficio que se espera obtener del acceso a un nivel educativo superior. Finalmente los agentes se someten a un proceso de influencia social mutua, incrustados en redes con topología *small world* cuyos parámetros se establecen para representar el grado de *homofilia* característico de las redes sociales reales¹⁶ ($S_{i,ig}$); este mecanismo está expresamente inspirado en el principio de «imitación racional» discutido más arriba.

El programa se reitera hasta que todos los agentes han alcanzado un nivel educativo estable. En primer lugar se ejecuta un modelo «base» con el que se comparan las variantes que introducen de forma sucesiva cada uno de los cuatro mecanismos sucintamente descritos anteriormente, creando así diferentes condiciones experimentales artificiales que permiten evaluar la aportación de cada mecanismo al resultado final. Los resultados

¹³ En concreto, diez veces más. Manzo calcula seis estadísticos distintos de movilidad absoluta y relativa que muestran una estructura de desigualdades caracterizada por un porcentaje importante de inmovilidad (35,26%) y unas diferencias evidentes en las probabilidades de alcanzar los niveles educativos superiores.

¹⁴ Describo aquí sucintamente las características principales del modelo. Los detalles, y su justificación, pueden hallarse en el artículo de Manzo, ya citado, especialmente en las páginas 57-66.

¹⁵ Nótese que las decisiones de los agentes no están modeladas con funciones de utilidad, sino que se trata de un modelo probabilístico de decisiones binarias.

¹⁶ Un promedio de 4 lazos por agente, siendo el 10% de los lazos heterófilos.

GRÁFICO 1.A. Distribución real de niveles educativos según nivel educativo de los padres (muestra de la población francesa)

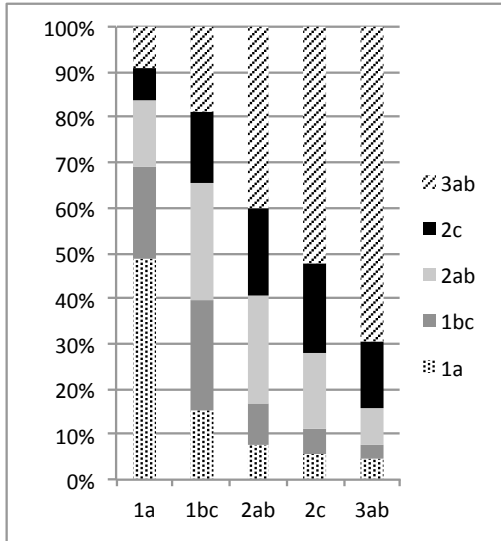
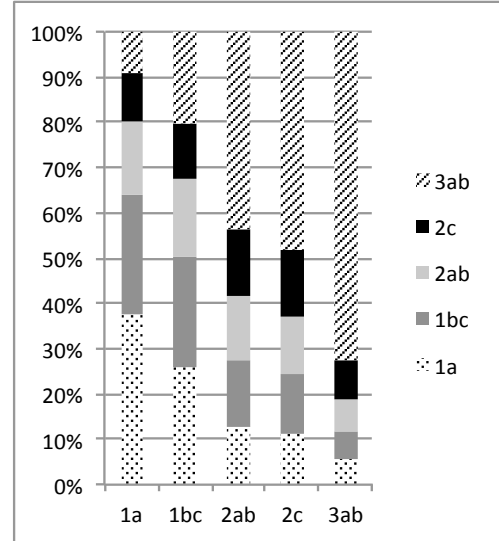


GRÁFICO 1.B. Distribución simulada de niveles educativos según nivel educativo de los padres (promedios de 100 simulaciones)



Nota: Las columnas representan los niveles educativos alcanzados por los individuos (siendo 1a el inferior y 3ab el superior). Los porcentajes dentro de cada columna indican la proporción de individuos en cada nivel que proviene de cada uno de los cinco niveles. Así, en el gráfico 1.A, la primera columna muestra que casi el 50% de los individuos que tienen el nivel 1a son hijos de individuos con el mismo nivel, y solo el 10% son hijos de personas que alcanzaron el nivel 3ab. El resto de las columnas se lee de idéntica manera.

Fuente: Elaboración propia de los datos publicados por Gianluca Manzo (2013).

de su «variante 4», que incluye todos los mecanismos descritos, son muy similares a los reales en todos los estadísticos de movilidad educativa calculados (véase la nota 13). Solo entre el 11 y el 13% de los agentes están clasificados erróneamente, debido principalmente a que el modelo permite que demasiados agentes del grupo más bajo vayan más allá de la primera transición educativa¹⁷. La similitud entre los datos reales y los simulados puede apreciarse comparando el gráfico 1.A con el gráfico 1.B.

Que el modelo de Manzo está correctamente verificado se muestra con el hecho de que al eliminar en este los mecanismos que

generan estratificación social, de hecho, no produce estratificación alguna. La introducción secuencial de los términos A_{ig} , B_{ig} y Sl_{igL} reduce progresivamente el índice de disimilitud hasta los valores señalados. Por otra parte, el ajuste de parámetros para optimizar el modelo (*parametrización*) se reduce a la fijación de las medias de las distribuciones de habilidad y beneficios percibidos para cada uno de los grupos, dado que la calibración empírica de estos parámetros resulta imposible. Finalmente, la robustez del modelo ante cambios en los valores de los parámetros que configuran la topología de las relaciones entre los agentes también es muy alta: en concreto un promedio de lazos por agente mayor que el fijado en el modelo no afecta los resultados obtenidos; y solo valores *no realistas* de la proporción de lazos he-

¹⁷ El índice de disimilitud (*dissimilarity index*) oscila en el intervalo 11.04-13.28.

terófilos (valores que impliquen que los agentes se relacionan más con individuos de otros grupos que con individuos del propio grupo) tienen un impacto en la reducción de desigualdades educativas, alejando los resultados del modelo de la realidad.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque los gráficos 1.A y 1.B reflejan realidades muy similares, existe una notable diferencia entre la *naturaleza* de los datos mostrados en el primero y los mostrados en el segundo. En el gráfico de la izquierda los datos son reales en el sentido de que son el resultado de un procedimiento estandarizado para medir la realidad empírica. Estos datos, sin embargo, no ofrecen respuestas, sino preguntas: ¿por qué las 25 tasas calculadas son *las que son*, y no otras distintas? El gráfico 1.A es un *explanandum* típico de las ciencias sociales.

El gráfico de la derecha, que muestra los resultados *artificiales* de un modelo de simulación, no contiene preguntas sino una respuesta muy precisa al interrogante planteado por el anterior. Dicha respuesta es la siguiente: si las decisiones de los individuos estuvieran regidas por los cuatro mecanismos que Manzo incluye en su modelo se generaría una estructura de desigualdad notablemente similar a la real. Por lo tanto, los mecanismos propuestos por Manzo pueden explicar la realidad. Ahora bien, ¿existe un conjunto alternativo de mecanismos que explique los datos empíricos con igual o mayor precisión que este modelo?

Como sostiene Mario Bunge (2013), una teoría no solo se contrasta con los datos, sino también con las teorías alternativas. La explicación de Manzo de la estructura de desigualdad educativa de Francia no solo se ajusta muy bien a los datos reales, sino que tiene implicaciones relevantes con relación a las otras aproximaciones teóricas al problema. En primer lugar, la suficiencia generativa del modelo sugiere que las tesis centrales de

las llamadas teorías de la reproducción acaso tengan poco poder heurístico: las características culturales del marco institucional *podrían* no jugar ningún papel significativo en la generación de las desigualdades educativas. El modelo de Manzo, desde luego, no descarta que esas características jueguen un papel; pero sí demuestra que *no son necesarias* para construir una explicación lógica, consistente y ajustada a la realidad de las desigualdades educativas.

En segundo lugar, el modelo también muestra que las variables típicas usadas en los modelos estadísticos de la tradición de la teoría del capital humano *son insuficientes* para producir una explicación satisfactoria: aunque las variables características de las aproximaciones *rational choice* al problema resultan necesarias para generar las desigualdades educativas no es posible dar cuenta de la magnitud real de las mismas prescindiendo de un mecanismo de influencia social que opere a través de las redes sociales.

Trascendiendo el ejemplo, cabe decir que en términos generales la estrategia de explicar patrones de comportamiento a través del método generativo de los modelos ABM tiene ventajas sobre otras alternativas teóricas, al menos en cuatro sentidos: en primer lugar, es capaz de abordar solventemente el problema de la relación entre los niveles micro y macro, a través de una metodología que sigue el modelo de transición interaccionista característico de la sociología. En segundo lugar, el uso de modelos computacionales es una garantía de precisión conceptual y rigor lógico, por una razón obvia: de otra forma no podrían funcionar. En tercer lugar, aunque la economía explicativa no está garantizada *per se*, las buenas prácticas de programación estimulan la creación de modelos parsimoniosos, pues, de otra forma, su análisis se vuelve técnicamente imposible. Finalmente, el tipo de experimentación *in silico* inherente a esta metodología (la activación o desactivación deliberada de determinadas subrutinas del programa para evaluar las consecuencias de las mismas)

permite dirimir eficazmente qué mecanismos son suficientes para explicar el comportamiento objeto de estudio, y cuáles son innecesarios. Un corolario de todo esto es que los modelos ABM permiten construir un cuerpo de conocimiento muy particular, al que siempre han aspirado los sociólogos, a saber, la ciencia de las consecuencias inintencionadas de la acción.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, Jeffrey C. y Giesen, Bernahrd (1987). «From Reduction to Linkage: The Long View of the Micro-Macro Link». En: Alexander, Jeffrey C. et al. (eds.). *The Micro-Macro Link*. Berkeley: University of California Press.
- Axelrod, Robert (2003). *La complejidad de la cooperación*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Becker, Gary (1993). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. Chicago: The University of Chicago Press. (3ª ed.).
- Berger, Peter y Luckmann, T. (1968). *La construcción social de la realidad*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Bianchi, Federico y Squazzoni, F. (2015). «Agent-based Models in Sociology». WIREs Comput Stat 2015. Doi: 10.1002/wics.1365
- Boudon, Raymond (1973). *L'Inégalité des Chances*. Paris: Colin.
- Boudon, Raymond (1981). *La Lógica de lo Social: Introducción al Análisis Sociológico*. Barcelona: Rialp.
- Boudon, Raymond (1996). «The Cognitivist Model. A Generalized Rational Choice Model». *Rationality and Society*, 8(2): 123-150.
- Bourdieu, Pierre (1980). «Le capital social: notes provisoires». *Actes de la Recherche en Science Sociales*, 31: 2-3.
- Bourdieu, Pierre (1986). «The forms of capital». En: Richardson, J. G. (ed.). *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*. Westport, Connecticut: Green Wood.
- Bourdieu, Pierre y Passeron, Jean-Claude (1990). *Reproduction in Education, Society and Culture*. London: Sage Publications Ltd.
- Breen, Richard y Goldthorpe, J. (1997). «Explaining Educational Differentials: Toward a Formal Rational Choice Theory». *Rationality and Society*, 9(3): 275-305.
- Bunge, Mario (1999). *La relación entre la sociología y la filosofía*. Madrid: Edaf.
- Bunge, Mario (2013). *La ciencia. Su método y su filosofía*. Pamplona: Laetoli.
- Camerer, Collin (2003). *Behavioral Game Theory: Experiments on Strategic Interaction*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Coleman, James S. (1966). *Equality and Educational Opportunity*. Washington, U.S.: Department of Health, Education, and Welfare.
- Coleman, James S. (1988). «Social Capital in the Creation of Human Capital». *American Journal of Sociology*, 94: 95-121.
- Coleman, James S. (2011). *Fundamentos de Teoría Social*. Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Coleman, James S.; Katz, E. y Menzel, H. (1957). «The Diffusion of an Innovation among Physicists». *Sociometry*, 20: 253-270.
- Collins, Randall (2009). *Cadenas de Rituales de Interacción*. Barcelona: Anthropos.
- Elster, Jon (1990). *Tuercas y tornillos para las ciencias sociales*. Barcelona: Gedisa.
- Epstein, Josua M. y Axtell, Robert (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Washington, D.C.: The Brookings Institution.
- García-Valdecasas, José I. (2014). «Explicación, mecanismo y simulación: otra forma de hacer sociología». *EMPIRIA, Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 28: 35-58.
- García-Valdecasas, José I. (2016). *Simulación basada en agentes. Introducción a Netlogo*. Madrid: CIS.
- Gilbert, Nigel (2008). *Agent-Based Models*. London: Sage Publications.
- Gilbert, N. y Troitzsch, K. G. (2006). *Simulación para las Ciencias Sociales*. Madrid: Mc GrawHill.
- Goldthorpe, John (2016). *Sociology as a Population Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Granovetter, Mark (1978). «Threshold Models of Collective Behavior». *American Journal of Sociology*, 83(6): 1420-1443.

- Güth, Werner, Schmittberger, Rolf y Schwarze, Bernd (1982). «An Experimental Analysis of Ultimatum Bargaining». *Journal of Economic Behavior and Organization*, 3(4): 367-388.
- Hedström, Peter (1998). «Rational Imitation». En: Peter Hedström, P. y Swedberg, R. (eds.). *Social Mechanisms*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hedström, Peter (2005). *Dissecting the Social: On the Principles of Analytical Sociology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hedström, Peter y Swedberg, Richard (1996). «Social Mechanisms». *Acta Sociologica*, 39: 281-308.
- Hedström, Peter y Ylikoski, P. (2010). «Causal Mechanisms in the Social Sciences». *Annual Review of Sociology*, 36: 49-67.
- Hedström, Peter y Bearman, Peter (eds.) (2009). *The Oxford Handbook of Analytical Sociology*. Oxford: Oxford University Press.
- Hempel, Carl G. (1965). *Aspects of Scientific Explanation*. New York: The Free Press.
- Holland, John H. (1998). *Emergence: From Chaos to Order*. New York: Basic Books.
- Holland, John H. (2004). *El orden oculto: De cómo la adaptación crea la complejidad*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Homans, George C. (1970a). «Procesos sociales fundamentales». En: Smelser, N. J. (ed.). *Sociología*. Madrid: Fundación Foessa.
- Homans, George C. (1970b). *La Naturaleza de la Ciencia Social*. Buenos Aires: Editorial Universitaria.
- Linares, Francisco (2018). *Sociología y teoría social analíticas*. Madrid: Alianza Ed.
- Manzo, Gianluca (2013). «Educational Choices and Social Interaction: A Formal Model and a Computational Test». *Class and Stratification Analysis Comparative Social Research*, 30: 47-100.
- Merton, Robert K. (1936). «The Unanticipated Consequences of Purposive Social Action». *American Sociological Review*, 1: 894-904.
- Merton, Robert K. (1992a). «Sobre las teorías sociológicas de rango intermedio». En: *Teoría y estructura sociales*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Merton, Robert K. (1992b). «La profecía que se cumple a sí misma». En: *Teoría y estructura sociales*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Opp, Karl D. (2014). «The Explanation of Everything: A Critical Assessment of Raymond Boudon's Theory Explaining Descriptive and Normative Beliefs, Attitudes, Preferences and Behavior». *Papers. Revista de Sociología*, 99(4): 481-514.
- Portes, Alejandro (1998). «Social Capital: Its Origins and Applications in Modern Sociology». *Annual Review of Sociology*, 24: 1-24.
- Portes, Alejandro (2000). «The Hidden Abode: Sociology as Analysis of the Unexpected». *American Sociological Review*, 65: 1-18.
- Schelling, Thomas C. (1989). *Micromotivos y macroconducta*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Simon, Herbert (1982). *Models of Bounded Rationality*. Cambridge: MIT Press.
- Squazzoni, F. (2012). *Agent-Based Computational Sociology*. Singapur: Wiley.
- Stinchcombe, Arthur L. (1991). «The Conditions of Fruitfulness of Theorizing about Mechanisms in Social Science». *Philosophy of the Social Sciences*, 21(3): 367-388.
- Watts, Duncan (2015). «Common Sense and Sociological Explanations». *American Journal of Sociology*, 120(2): 313-351.
- Weber, Max (1944). *Economía y Sociedad. Esbozo de sociología comprensiva*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Weber, Max (1984). *La acción social: Ensayos metodológicos*. Barcelona: Ediciones Península.
- Wright, Georg H. von (1979). *Explicación y comprensión*. Madrid: Alianza Editorial.

RECEPCIÓN: 15/02/2017

REVISIÓN: 04/04/2017

APROBACIÓN: 23/06/2017

Agent Based Models and the Science of Unintended Consequences of Social Action

Los modelos basados en agentes y la ciencia de las consecuencias inintencionadas de la acción

Francisco Linares

Key words

Generative Social Science

- Educational Inequalities
- Explanatory Mechanism
- ABM Model
- Principle of Action
- Social Simulation
- Analytical Sociology

Palabras clave

Ciencia Social Generativa

- Desigualdades educativas
- Mecanismo explicativo
- Modelo ABM
- Principio de acción
- Simulación social
- Sociología analítica

Abstract

The aim of this article is to defend the thesis that agent-based models (ABMs) permit us to successfully address the problem of the micro-macro connection in the social sciences. The argument is developed in four stages: First, we argue that the social sciences requires a theory of action constructed over a concrete explanatory mechanism, referred to as a “principle of action”. Following, we examine how the micro-macro connection has often been theorised in sociology using what can be referred to as an “interactionist transition model”. Thirdly, we show that ABMs fit the properties of the interactionist transition model, while contributing specific explanatory mechanisms. Lastly, the argument is illustrated through an analysis of the social reproduction of educational inequalities.

Resumen

El propósito de este artículo es defender la tesis de que los modelos basados en agentes (ABMs) permiten abordar solventemente el problema del vínculo micro-macro en las ciencias sociales. El argumento se desarrolla en cuatro etapas: en primer lugar, se sostiene que las CC.SS. requieren una teoría de la acción construida sobre un mecanismo explicativo concreto, denominado «principio de acción». Seguidamente se expone cómo, en el ámbito de la sociología, el vínculo micro-macro se ha teorizado, en buena medida, siguiendo un modelo que puede denominarse «transición interaccionista». En tercer lugar se muestra que los ABMs se ajustan a las propiedades del modelo de transición interaccionista, a la vez que le aportan mecanismos explicativos específicos. Finalmente, el argumento se ilustra mediante el caso del análisis de la reproducción social de las desigualdades educativas.

Citation

Linares, Francisco (2018). “Agent Based Models and the Science of Unintended Consequences of Social Action”. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 162: 21-38. (<http://dx.doi.org/10.5477/cis/reis.162.21>)

Francisco Linares: Universidad de La Laguna | flinares@ull.edu.es

INTRODUCTION¹: INDIVIDUAL ACTIONS AND COLLECTIVE PATTERNS

The problem of satisfactorily defining sociology is well-known. One aspect of the difficulty resides in the fact that sociologists study a broad variety of phenomena. Thus, we see sociological research seeking to answer such questions as:

- Why are residential spaces socially differentiated in function of characteristics such as income and ethnicity?
- Why does the distribution of social recognition reveal a deep asymmetry?
- Why is educational achievement unequal among individuals from different social groups?

These (and other) questions that attract the attention of sociology share a common characteristic: they assume the existence of a regularity. The interest in the question does not reside in whether, for example, John has higher achievements than Joe, but rather in what can be observed and described statistically, that individuals in one category *regularly* obtain better results than those in another category. This is not necessarily true for each and every individual, but it is true for the *totality of the population*. It is the existence of these regularities, adopting the form of rates, bar diagrams, graphs or correlation coefficients between variables (among others), which justifies sociological research, as these constitute its typical *explananda*.

These *explananda* have two basic properties that need to be emphasised. The first

is that they are the result of human actions. A suicide rate, a fertility rate, a rate measuring political militancy, the usage rate of a certain combination of words, or measuring attendance at religious services, all are the result of individual actions. The fact that individuals who are Protestant commit suicide more often than those who are Catholic does not, by itself, provide an explanation of suicide; however, it does constitute a sociological *explanandum* in itself, an identifiable pattern difficult to explain. This characteristic is intrinsically related to a basic thesis regarding the ontology of the social world: although social reality can be observed from different levels of aggregation (individuals, groups, organisations, etc.), the only element with causal efficacy is individual actions. Ignoring this reductionist thesis would mean adopting the unintelligible position that fertility rates, levels of inequality, or the balance of power are produced by themselves or one produces the other².

The second property is that these patterns that characterise the totality are, often, the fruit of intentioned actions; but that does not mean the results are intentioned. As individuals we commonly act with some degree of intentionality, but this does *not* mean that the result of our actions are fruit of rational planning or design. Individual motives “explain” the actions of each individual, but the aggregate result does not have to correspond with, nor can it be directly interpreted based on, individual motives. Basically this means that, in general, the facts that interest sociology share the common characteristic of being the *unintended* results of intended actions (Merton, 1936; Portes, 2000)³.

¹ I would like to thank the two anonymous reviewers of the REIS for their detailed comments, which have allowed me to significantly improve the original text. The defects that remain are wholly the responsibility of this author. The present text is a result of work carried out under the Spanish R&D&I project CSO2012-31401 financed by the Ministry of Economy, Industry and Competitiveness (MINECO) as part of the “RETOS” call for research of the National Plan for R&D&I.

² Of course, this thesis has a long tradition in the social sciences. The most recent well-recognised defence of it can be found in the recent work of John Goldthorpe (2016).

³ The references to Merton and Portes are, in a sense, obligatory. The intellectual tradition is of course extensive, and it is not the objective of this text to review it.

Following Merton, we will assume in what follows that the task of sociology consists in obtaining “logically interconnected and empirically confirmed propositions about the structure of society and its changes, the behaviour of man within that structure and the consequences of that behaviour” (Merton, 1992a: 79). In addition, we argue that the most adequate strategies for carrying out this task revolve around three concepts that are related to the different theoretical problematics that must be addressed to do so. These concepts are the *causal mechanism*, *agent-based modelling* (ABM) and *generative social science*.

In short, the aim of this article is to argue that the difficult question of the relationship between individual actions and their aggregate consequences, what has been referred to as the problem of the micro-macro connection, can be satisfactorily addressed within the framework of the theory of complex adaptive systems, with the use of computational models. In addition, we argue that the explanations produced by this method can improve the explanations for diverse social phenomenon provided up to now.

The article is organised as follows: First, we offer a brief explanation of the epistemological strategy used in the social sciences to produce causal explanations, and the type of theory of action that is adequate within the framework of this strategy. Secondly, we explain the problems in the theorisation of the link between micro and macro levels in sociology. In the third section, we show that agent based models on permit us to carry out a social science that we refer to as generative, and which resolves the problem raised in the previous section. We then illustrate this achievement examining Gianluca Manzo’s model (2013) for inequality in the structure of educational opportunities. This example is not chosen at random, as it not only addresses a typical problem in the social sciences, but one which also constitutes an *explanandum* within a good part of the sociological

literature in which the relationship between the micro and the macro remains opaque. The article ends with some final considerations regarding the value of ABM in sociological research.

CAUSAL MECHANISMS AND THE PRINCIPLES OF ACTION

The decline of the nomological-deductive model defended by Carl Hempel (1965) during the second half of the 20th century left a hole in the epistemology of the science that came to be occupied by a concept that allowed two of its basic problems to be avoided, the impossibility of finding necessary laws outside of the very restricted spheres of the science, and the need to contribute a credible narrative of how a determined effect follows a cause. The concept is *causal mechanism*, which in the social sciences, and specifically in sociology, can be traced to Boudon (1981), Bunge (1999), Elster (1990), Stinchcombe (1991) and Hedström and Swedberg (1996)⁴. Theorisation based on mechanisms displaces the focus of attention from the search for *necessary* laws (either in a version of universal regularities or in a more feasible version, of probabilistic regularities) to the search for basic entities and processes that are *sufficient* (that is, that they have *generative sufficiency*) to produce a certain result. In the social sciences, the basic entities and processes are individuals and the relationships that these maintain among themselves, given that, as pointed out above, social life cannot be anything other than the fruit of their actions.

Much of theoretical enquiry and empirical research in the different social sciences is sustained on the premise that said action (human action) is intentional. Although there are

⁴ A review of the meaning and use of the concept in the social sciences can be found in Hedström and Ylikoski (2010).

other forms of action, such as ritual or that guided by emotions, the majority of actions are interpreted under the premise that individuals are capable of proposing ends and taking actions to pursue those ends or purposes. The classic reference for this conception is, of course, Max Weber (1944, 1984), although, as recently argued by Duncan Watts (2015), the “theory of rationalizable action” (namely, the theory that reasons can be found to explain individuals’ actions by addressing their purposes and circumstances) permeates in distinct versions, practically all of sociological theory, from Parsons to Bourdieu.

The basic schema of this theory of action is known as a “practical syllogism” (von Wright, 1979) and takes the following form:

- a) *Agent i wishes to produce result O.*
- b) *Agent i knows that under conditions C, action A_1 produces result O.*
- c) *Agent i takes action A_1 .*

A modern version of this syllogism is Boudon’s theory of ordinary rationality (1996). The French sociologist argues that the actions of individuals can be explained through the reasons (whether founded or unfounded) that individuals give for their actions. These reasons have to do with the beliefs of different types (about reality, about what is morally desirable, etc.) that individuals share and that form part of what tends to be called “culture”. Thus, for example, the famous Native American Hopi tribe described by Durkheim in *The Elementary Forms of Religious Life*, participate in their rain dance for reasons that go beyond the utility of the ceremony for making it rain.

As critics of Boudon have argued, said theory can of course explain all actions *a posteriori* (Opp, 2014). This is not a minor problem. It is clear that, even in a very restrictive set of conditions C, agent *i* generally has more than one option (A_1, A_2, \dots, A_n) for act-

ing⁵. This implies that, if it is to have explanatory/predictive value, a theory of intentioned action must contain a mechanism that can account for why agent *i* carried out action A_1 , instead of alternative actions. This mechanism is also a logical requisite for creating a deductive theory that links the actions of each agent with those of everyone else. A deductive theory that does that is, in turn, a logical requisite for causally explaining the typical sociological *explananda*.

In the social sciences, mainly three mechanisms or *principles of action* have been used: the principle of utility maximisation, the principle of reinforcement, and the principle of imitation. It is clear that the first of these, so-called “rational choice”, is the most broadly used, given that it is the main engine of micro-economic theory, of much of political science, and an important part of sociology (for example in the works of James S. Coleman, 2011). It is also known that this principle has been widely questioned from two different directions: First, the experimental literature regarding biases in choice has shown that individual decisions are far from the standard model in their degree of rationality (Camerer, 2003), approaching a type of bounded rationality that was defended by Herbert Simon (1982). Secondly, another type of experimental literature, which revolves around the ultimatum game (Güth *et al.*, 1982) or variants of it, has shown that agents’ decisions result from a plurality of motivations that are generally not recognised in the predominant model of the actor in micro-economic texts, such as the internalisation of norms of equity or other so-called “pro-social” motivations.

Lastly, experimental economists seem to have “discovered” Max Weber’s distinction between rationality with respect to values (*Wertrationalität*) and rationality with respect

⁵ The same criticism is made of the DBO (desires, beliefs and opportunities) model defended by Hedström (2005).

to ends (*Zweckrationalität*); and they confront the same problem that a sociologist, knowledgeable of the Weberian typology confronts: no one knows, *ex ante*, when one type or another operates, or when both operate simultaneously. The majority of social theories simply opt for one of the two options: either they assume that agents are (primarily) instrumental in their actions, or they believe they are (primarily) normative. This is clearly not the most elegant solution from a theoretical perspective.

I argue that these difficulties would be significantly reduced employing the principle of “rational imitation” defended by Peter Hedström (1998), the antecedents of which can be found in the work of Thomas Schelling (1989) and Mark Granovetter (1978). This mechanism implies that to make a decision regarding a particular matter we pay attention to the behaviour of the individuals in our environment that have previously made a decision on that matter. This mechanism acts on our beliefs: if one option is relatively more common than others, this feeds the belief that, at the least, said choice is not a poor option. This will drive our decision; and the action we undertake, in turn, will provide information to other individuals, reaffirming their beliefs regarding the adequacy of their behaviour or pushing them to change. However, the mechanism of imitation will not necessarily lead to an overall optimal point, as the copying behaviour can be produced around a local optimum.

The heuristic advantage of this principle with respect to its alternatives is grounded, at the least, in the following reasons:

1) It is especially adequate for environments in which agents make their decisions embedded in a network of relations, avoiding an “atomised” vision of social reality and, therefore, is particularly useful for taking account of social phenomena in which individual actions are subject to reciprocal influences.

- 2) It is compatible with the multiple motivations characteristic of human actions. In addition, it is a theoretical approach that is equally useful for both instrumental and axiological rationality, as both the evaluation of what is instrumentally satisfactory and what is normatively correct, frequently depend on this behaviour being sufficiently widespread in the population (a restaurant that no one goes to is not a satisfactory choice, and a social norm that “you must wait in line to board the bus” has to be followed by a significant proportion of passengers for us to accept that such a norm applies in that situation).
- 3) It does not require unrealistic assumptions about individuals’ cognitive capacities, as it is easily implementable in computational models that, as we will see in what follows, are an adequate tool for generating explanations based on causal mechanisms.

THEORISATION OF THE MICRO-MACRO LINK IN SOCIOLOGY

The relationship between a specific reality and its most elemental components is one of the basic problems of any scientific discipline, and is a problem that is far from being resolved in the social sciences. It is also referred to as the problem of the micro-macro link, which has also often been considered as a problem of the relationship between *structure* and *action*. Specifically in the field of sociological thought this relationship has been theorised in very different ways. According to Jeffrey C. Alexander and Bernhard Giesen (1987), the most important theoretical strategies are the following:

- Interpretive individuals create society through contingent acts of freedom. This is the position of symbolic interactionism, as characterised in the work of Herbert Blumer, and other research programmes that place emphasis on the inter-subject-

tive construction of reality. A recent example is Randal Collins' theory of interaction ritual chains.

- Socialised individuals recreate society through contingent acts of freedom, guided by a limited rationality. This is the position, for example, of Robert K. Merton in his now classic analyses of "social structure and anomie" and "the self-fulfilling prophecy".
- Socialised individuals reproduce society by conveying the social structure to the micro sphere. This is the position of structural functionalism and structuralist Marxism, in which subjects simply play the role of agents reproducing the social system. The classic references are Talcott Parsons' *The Social System*, and Louis Althusser's *Ideologie et Appareil Ideologique d'Etat*.
- Rational individuals create society through contingent acts of freedom. This is, broadly speaking, the position of theories of social exchange and, particularly, the *rational choice* school. The *Foundations of Social Theory* by James S. Coleman is the clearest expression of this perspective.
- Rational individuals consent to society because it is the optimal response to their social environment. In this case, the creative capacity of social actors is denied, given that the possibilities for action are completely restricted. Boudon's model of "relative frustration" fits this description (although the French sociologist would not identify this idea with his model, and the majority of his writings do not fit within it).

These different theoretical perspectives, however, hide a convergence around basic principles that can be found within many, though not all, the schools of sociological thought. Thus, for example Berger and Luckmann's "paradigm" (1968: 78-80) that sketches out the origin of institutions based on a process of reciprocal typification of actions,

in which A and B (the solitary residents of a desert island), observe each other, attribute motives to each other and mutually anticipate each other's conduct, in this way each one creating the opportunity to "carry out 'roles' vis-a-vis the other", has more in common than standard texts in sociological theory suggest with Merton's analysis (1992b: 508) of the process of discrimination against black workers by white trade-unionists, result of the consolidation of false beliefs about reality and rooted in social relations, in which "our unionist fails to see, of course, that he and his kind have produced the very 'facts' which he observes."

George Homans' analysis (1970a: 80-82) of systems of exchange of signs of social approval that perpetuate characteristic norms of a group, in which he concludes that the greater the number of members that are rewarded either directly or indirectly for their participation in a group, the greater will be the number who conform to its norms, also has an air of familiarity with Randal Collins' conception (2009: 205-207) of social life as interaction ritual chains in which "[p]ersons with more resources can demand more in exchange from those they interact with"; processes in which the meanings of the symbols of group belonging and differences in status between individuals are reaffirmed. It can also be argued that all of them, in turn, connect with both Bourdieu's (1980) and Coleman's (1988) conceptions of social capital⁶ as a result of the investment strategies in social relations that produce lasting obligations, so that "[t]he reproduction of social capital presupposes an unceasing effort of sociability, a continuous series of exchanges in which recognition is endlessly affirmed and reaffirmed (Bourdieu, 1986: 250)".

⁶ As mentioned by Portes (1998), the concept of social capital in the work of Bourdieu and Coleman is very similar, while, at the same time distant from the tradition linked to the political scientist, Robert Putnam.

All these examples, which can be seen as “representative” (obviously they are not randomly chosen) of much of the sociological theory produced during the 20th century, despite the differences in the intellectual frameworks in which each author is situated, share an elementary structure that can be summed up in the following points⁷:

First, all of them reveal differences between individuals in interaction: some participate in the interaction from its beginning, and others do not; some have a more central position than others; some have a greater capacity to offer benefits than others, etc. In short, *the subjects are heterogeneous* and this heterogeneity is important in all processes.

Secondly, in all cases the individuals are *subjects with their own agency*, not mere executors of a predetermined script; and their actions are linked with those of others, having ramifications for their consequences.

Third, they assume theories of action that, although very different (as are for example behavioural psychology and phenomenological analysis), share being distant from *the standard model of the rational actor*. All the examples contribute a vision of agents that make decisions guided by heuristics that save energy and have a low computational cost.

Fourth, in all cases *the result of interactions transforms the initial conditions under which subjects act*, creating a new social order or modifying the previously existing one: once a routine has been institutionalised, a symbol sacralised, or a behavioural norm sanctioned, the routine, symbol or norm come to form a part of the objective conditions that subjects must adapt to.

Lastly, in fifth place, *for the subjects it is difficult to reverse the result of their interactions*, whether in reference to an institution, a

ritual or a distribution of acquired social obligations, which, therefore, tend to be perpetuated in time.

It is very likely that many sociologists recognise in this paradigm, in practical effects, what we will call an “interactionist model of transition”. This model, however, has an obvious limitation that prevented it (until very recent) from becoming a widely accepted solution to the problem of the micro-macro connection. The limitation was very clearly pointed out by Homans in a brief text on epistemology in the social sciences:

It is often said that social science has been slow to make progress because the variables entering its problems are many and not easily controlled. But the basic variables... can be few. The difficulty does not lie in the number of variables but in the number of men and groups in whose different activities the variables take different values. It lies above all in showing how the behaviour of different men, behaviour exemplifying the same general propositions, combines over time to produce particular results, when past behaviours affect present ones in complex chains (Homans, 1970b: 92).

THE IMPLEMENTATION OF THE INTERACTIONIST MODEL OF TRANSITION IN AGENT-BASED MODELS

Computational models, specifically agent based models, are the appropriate tool of analysis to study complex adaptive systems (CAS), a concept derived from the work of John Holland (2004), Robert Axelrod (2003), Joshua M. Epstein and Robert Axtell (1996), and other researchers as well from different disciplines linked to the Sante Fe Institute, which intends to capture the properties of systems constituted by elements with the capacity for agency that constantly adapt to their environments.

CAS are ubiquitous in social reality, given that individuals are constantly making deci-

⁷ With this statement, I do not, of course, intend to reflect the judgement that these theorists might have of their own work, nor the judgements that recognised interpretations of sociological theory have of them.

sions under the influence of decisions made by other individuals. That is, we mutually and incessantly adapt our behaviour to others. The actions of those persons to whom we find ourselves connected to in the networks in which we are embedded affect our beliefs about reality, our preferences regarding the courses of action to follow, and our available choices, in a loop that incessantly feeds back on itself. This is the way they spread rumours, generate fashions, and saturate labour markets, to give three typical examples. The illustrations of an interactionist model of transition discussed in the previous section are also examples of these types of processes.

Complex adaptive systems have very specific qualities, with important methodological implications:

- 1) The traits that characterise these systems appear as the result of a more or less extensive and complex fabric of interactions. Thus, collective patterns cannot be directly derived from the diversity and variability of the characteristics of isolated individuals. In other words, there is no clear connection between the properties of the whole and the properties of the parts. This phenomenon is known as *emergence*.
- 2) The actions of agents can, and tend to have *non-linear consequences*⁸, character-

istic of emergent phenomenon (Holland, 1998: 121-122), which has ramifications that are difficult to predict. This can be appreciated in the existence of *tipping points* (also point of inflection, point of no return or critical point), which implies that the evolution of certain social dynamics can be sensitive to small disturbances.

- 3) These phenomena are the result of *cumulative processes*, that is, processes in which the decisions of agents generate feedback, driving them, as mentioned previously, to constantly adapt to the environment.
- 4) The internal dynamics of these systems do not tend to be the result of centralised planning or direction, but rather the result of *self-organising dynamics*. Obviously, both phenomenon can coexist, leading to a complex interaction that normally has the consequence that the rules established by the planner do not operate as the planner expected.
- 5) The system may or may not reach a state of *equilibrium*. In some cases, the process of mutual adaptation leads to a point that is analogous to that of the Nash equilibrium in game theory, in which there is no motivation for any agent to change their behaviour.
- 6) When this occurs, it is often a case of a *local*, not *global*, *optimum*. And in this case a key issue is the degree of *resilience* of these types of states. When said state does not exist, or it is not possible to reach it, the appearance of cyclical patterns will be observed that indicate a lack of stability in the existing relations between agents.

⁸ The concept of "non-linear consequences" can be easily illustrated by looking at a classical study on social contagions, that of Coleman et al on the spread of the use of the pharmaceutical "gammanym" among doctors in a mid-west city in the United States (Coleman et al., 1957). If the doctors made their decisions independently it would be easy to estimate using a linear equation for the number of them that prescribed the pharmaceutical at moment t_n based on the information recorded in moments $t_1, t_2, t_3...$ However, doctors make their decisions under the influence of their colleagues, and in particular, those with the most prestige. This means, as Coleman et al show, that the process of the spread of "gammanym" does not follow a linear logic (in which each individual would contribute to the same extent in reducing the proportion of the population that does not receive this medication), but rather follows a "snowball" process that is described with a typical sigmoidal curve.

The tool for analysing a CAS must, therefore, be sensitive to these issues. The analytical models frequently used in economics and political science, based on methods of optimisation are not equally useful in these types of systems, characterised by the heterogeneity of their components, limitations in the rationality of decision-making, and

non-linear dynamics. Computational agent-based models, however, have a high degree of isomorphism with CAS.

An ABM is a programme that codifies information about the number of agents in interaction, their characteristics and their environment; about their rules of interaction with other agents and with the surrounding environment, and about the rules through which these interactions transform the characteristics of the agents and their environment (Gilbert, 2008; Gilbert and Troitzsch, 2006; Squazzoni, 2012)⁹. Flow chart 1 represents in a simplified form the functioning of this computational simulation.

The procedure begins with a reading of the values of the parameters established by the researcher; then the agents are created (who can be of distinct types, such as for example, different ethnic groups, social classes and residence units) and their environment (physical and social, such as social networks), and initial values are assigned to their characteristics (such as gender, age, education level, etc.); these values can be assigned based on theoretical statistical distributions (as is normal) or empirically contrasted data (such as the distribution of the actual ages of a specific population). At this point the model constitutes an artificial society at a time 0, in which no causal mechanism has yet operated.

Once a simulation is initiated, the computer executes the programmed rules successively for each subroutine for each one of the agents. The rules are normally constructed with a conditional syntax of the type “if given the series of conditions C then execute order O”. On ending the loop, the execution of the rules of action will have produced changes in the state of the variables (the characteristics of the system) and in the characteristic variables of the agents. This

is shown in an updating of the values of the outputs produced (certain rates will increase, others will decrease, certain histograms will show greater or lesser symmetry, the convexity of the Lorenz curves will be more or less accentuated, etc.).

With each reiteration of the programme - the execution of the same rules of action in the recursively updated environment -, the system gets progressively further from the initial “non-social” state and approaches successively a new state in which the programmed mechanisms in the system generate, *in silico*, a series of data that will demonstrate a certain degree of similarity with the empirical descriptions of the real system that constitutes its object of study.

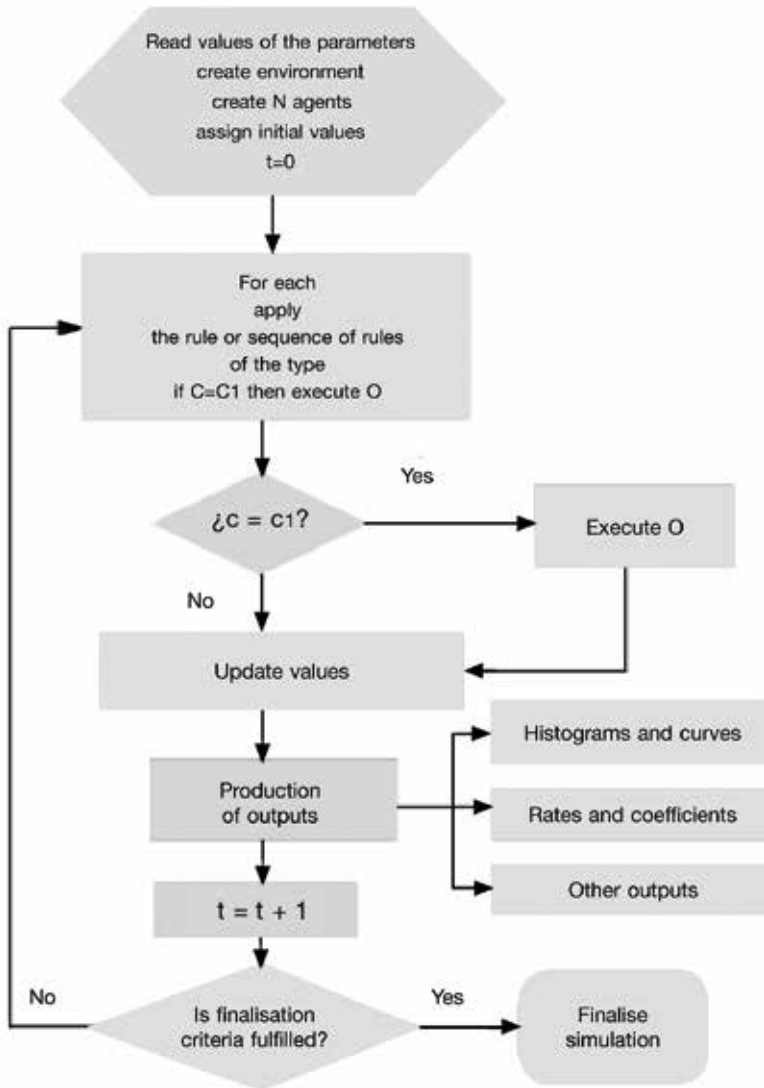
When the simulation finishes, either because the theoretical requirements for doing so are met (for example, that no vacant employment positions remain in the artificial society, that the population has reached its maximum level of growth, or that all the agents have finished their passage through the educational system) or because some practical rule has been completed (commonly a high number of reiterations of the programme), is the moment to evaluate the degree of isomorphism between the model and reality. At this point, it is necessary to distinguish three important issues.

First, it is necessary to be sure that the model functions as intended by the analyst (the *verification* of the model commonly requires a tedious process of detection and correction of programming errors), and that in addition, the result is robust given variations (especially extreme variations) of the parameters included in the model, which is known as a *sensitivity analysis*.

Secondly, a *validation* process must be carried out, that is, to measure the degree of fit to reality. This process has two dimensions: the first, referred to as *parametrization*, consists in assigning values to the parameters that are empirically known (*empirical*

⁹ In Spanish, consult García-Valdecasas as well (2014, 2016).

FLOW CHART 1. Schematic representation of an agent-based model



calibration) or are selected to optimise the fit of the model to reality. The second dimension is specifically to measure the degree of fit. A typical procedure is to choose a number of variables relevant to the description of the object of study and to verify that the real values are within the range of the probable re-

sults of the model when this is reiterated a very high number of time¹⁰.

¹⁰ Given that a typical model includes multiple stochastic processes, it is often necessary to execute the model hundreds of time with the aim of knowing what are the typical results (the average values or the most frequent

Lastly, even in the case that the model functions correctly and fits the reality that is the object of study, its results must be evaluated prudently because of an issue related specifically to social science methodology: even if the mechanisms implemented in the model reveal *generative sufficiency*, nothing excludes that another series of alternative mechanisms could show the same sufficiency (what is known as multiple realizability). In this sense, the recommendation is that the analyst follow the rule of Occam's razor: use the simplest model possible.

GENERATIVE SOCIAL SCIENCE: THE (WELL-KNOWN) EXAMPLE OF THE REPRODUCTION OF EDUCATIONAL INEQUALITY

It would be difficult to explain what generative social science is with greater clarity than the pioneers Joshua Epstein and Robert Axtell did in explaining their Sugarscape model¹¹:

From an epistemological stand point, what "sort of science" are we doing when we build artificial societies like Sugarscape? Clearly, agent-based social science does not seem to be either deductive or inductive in the usual senses. But then what is it? We think *generative* is an appropriate term. The aim is to provide initial micro-specifications (initial agents, environments and rules) that are sufficient to generate the macro-structure of interest. We consider a given macro-structure to be "explained" by a given micro-specification when the latter's generative sufficiency has been established (Epstein and Axtell, 1996: 177, emphasis added).

In short, the explanatory framework proposed by Epstein and Axtell provides an an-

values, depending on the case, for the variables that describe its behaviour).

¹¹ Sugarscape is the name of the model for the artificial economy created by Epstein and Axtell in their *Growing Up Artificial Societies* (1996).

swer to the problem of the micro-macro transition, proposing a strategy directly related to the interactionist model of transition described earlier: a pattern of behaviour is explained when it is possible to show that certain causal mechanisms that act at the micro level, in fact, *generate* that pattern. The success of this strategy is based on the technique of social simulation, which for the first time permits us to address the problem pointed out by Homans: the reconstruction of interaction chains with thousands of links.

Perhaps no more convincing illustration exists of the role that ABM can play in sociological research than the explanation for one of the empirical patterns most systematically studied empirically: the reproduction of educational inequalities¹².

Essentially, since the famous Coleman Report, (Coleman, 1966), it has repeatedly been shown that the education level individuals attain are strongly conditioned by the education levels of their parents. In an extremely simplified form, the explanations constructed in the 20th century for this revolved around two major alternatives rooted in different theoretical traditions:

On the one hand, there are theories centred on the role that the school as institution plays in the reproduction of educational inequalities. These revolve around the concept of cultural capital, its unequal distribution across social classes, and the premise that the school as an institution is not culturally neutral, so that not all of its students have the same real opportunities to successfully pass through the different educational levels. These perspectives are, in broad terms, known as theories of "cultural reproduction" (Bourdieu and Passeron, 1990).

On the other hand, there are theories centred on the characteristics of individuals that

¹² Other detailed examples of the use of ABM models in sociology can be found in Linares (2018).

increase or decrease the relative costs and benefits of the decision to enter successively higher levels of the education system. The variables to take into account in this case are related to individuals' abilities and the factors that can impact on their evaluation of the importance of academic achievement, as well as to the opportunity costs of the time invested in the education system. These theories revolve around the concept of "human capital" (Becker, 1993), and within sociology they fall within the *rational choice* tradition (Breen and Goldthorpe, 1997).

The work of Gianluca Manzo (2013), inspired by Boudon's seminal text, *L'inégalité des chances* (1973), is equally distant from the structural-functionalist logic typical of the first tradition and the atomist-utilitarian logic of the second. Its objective is to present "a micro-founded formal model of the macro-level structure [of the French population] of educational inequality, which frames educational choices [of individuals] as the result of both subjective ability/benefit evaluations and peer-group pressures" (2013: 47).

Manzo addresses this theoretical challenge building a computational model in which the probability of an individual passing from one level of the education system to another depends not only on their assessment of their abilities and the benefits of doing so, but also on the degree of *homophily* in their interactions within the social network in which they are embedded, that is, the degree to which an individual relates with others who are similar to him/her and is influenced by them.

His ABM is anchored in the data from a representative sample of the French population between 27 and 65 years of age, proceeding from a survey carried out by the French INSEE (National Institute of Statistics and Economic Studies) in 2003. The educational levels of individuals and their parents are codified according to five categories, established using the Casmin schema: general education inadequately completed (group

1a), basic education (group 1bc), basic secondary education (group 2ab), advanced secondary education (group 2c) and tertiary education (group 31b). Crossing the distribution of education levels of those surveyed by the education levels reached by their parents one observes the complex structure of inequality, constituted by 25 rates (5x5), which can be seen in Graph 1.A. It is easy to see that the children of individuals with more education have a disproportionately greater probability of reaching the highest education level than children of individuals with less education¹³.

The model is constituted by 5000 artificial agents; each which is assigned to one of the five different groups, g_i , corresponding to the educational level of their parents, maintaining the proportions of the French sample¹⁴. Each one of these agents must decide if they will continue or not in successive educational levels, L_i , from the first to the fifth level. The probability¹⁵ that an agent decides to enrol in a determined level depends on four factors: First, the agents have an ability whose average varies in function of group of origin (A_{ig}). Secondly, they are able to make an estimate of the net benefit from investment in education, whose average also varies in function of group of origin (B_{ig}). Third, a multiplicative term formalises the reciprocal influence between abilities and benefits (in the sense, for example, that an "optimistic" or "pessimistic" perception of abilities can influence the perception of the expected benefit of enroll-

¹³ In concrete, ten times more. Manzo calculates six different statistics for absolute and relative mobility that show a structure of inequalities characterised by a significant percentage of immobility (35.26%) and clear differences in the probabilities of reaching higher education levels.

¹⁴ I describe the main characteristics of the model very succinctly. The details, and its justification, can be found in Manzo's article, already cited, especially pages 57 to 66.

¹⁵ Note that the decisions of the agents are not modelled with utility functions, but rather are based on a probabilistic model using binary decisions.

ing in a higher level of education. Lastly, the agents are subject to a process of mutual social influence, embedded in networks with a *small world* topology with parameters that are established to represent the degree of *homophily* characteristic of real social networks¹⁶ (S_{igL}); this mechanism is expressly inspired in the principle of “rational imitation” previously discussed.

The model is iterated until the agents have reached a stable education level. First, a base model is executed with which the variants are compared, introducing each one of the four mechanisms just described successively, in this way creating different artificial experimental conditions that permit us to evaluate the contribution of each mechanism to the final result. The results of “variant 4”, which includes all four mechanisms are very similar to the real results in all the statistical calculations of educational mobility (see footnote 13). Only between 11% and 13% of the agents are erroneously classified, due mainly to the model permitting too many of the agents in the lowest group to pass beyond the first educational transition¹⁷. The similarity between the real data and the simulated data can be seen comparing Graph 1.A with Graph 1.B.

That the Manzo model is correctly verified is shown by the fact that by eliminating the mechanisms in the model that generate social stratification, no stratification is produced at all. The sequential introduction of the terms A_{ig} , B_{ig} and S_{igL} progressively reduces the dissimilarity index to the values reported. In addition, the fit of the parameters for optimising the model (*parametrisation*) is reduced to the assignation of the averages for the distributions of the abilities and perceived benefits for each of the groups, given that the empirical calibration of these param-

eters is impossible. Lastly, the robustness of the model to the changes in the values of the parameters that configure the topology of the relations among the agents is also very high: in fact, an average of ties per agent greater than that determined in the model does not affect the results obtained; and only *unrealistic* values of the proportion of heterophilic ties (values that imply that agents relate more with individuals from other groups than with individuals in their own group) have an impact in reducing educational inequalities, pushing the results of the model away from those found in reality.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Although graphs 1.A and 1.B reflect very similar realities, a significant difference exists between the *nature* of the data shown in the first and that shown in the second. In the graph on the left, the data are real in the sense that they are the result of a standardised procedure for measuring empirical reality. These data, however, do not offer answers, only questions: Why are the 25 rates calculated *what they are*, and not something else? Graph 1.A is a typical *explanandum* of the social sciences.

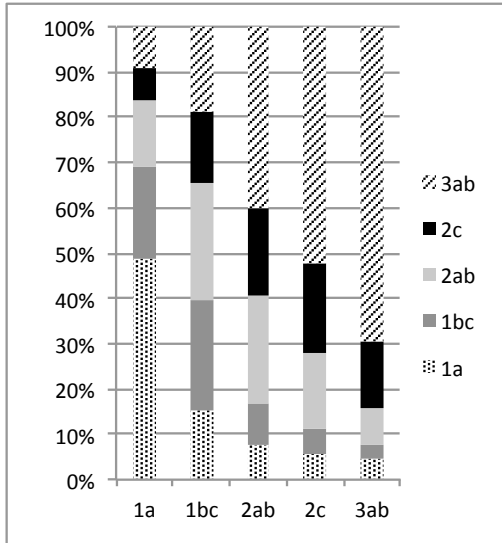
The graph on the right, which shows the *artificial* results of a simulation model, does not contain questions, but rather a very precise answer to the question just raised. The answer is the following: if individuals' decisions were determined by the four mechanisms that Manzo includes in his model, a structure of inequality notably similar to reality would be generated. Therefore, the mechanisms proposed by Manzo can explain reality. However, could an alternative set of mechanisms exist that explain the empirical data with equal or even greater accuracy than this model?

As Mario Bunge (2013) argues, a theory is not only examined in light of the data, but also compared with alternative theories.

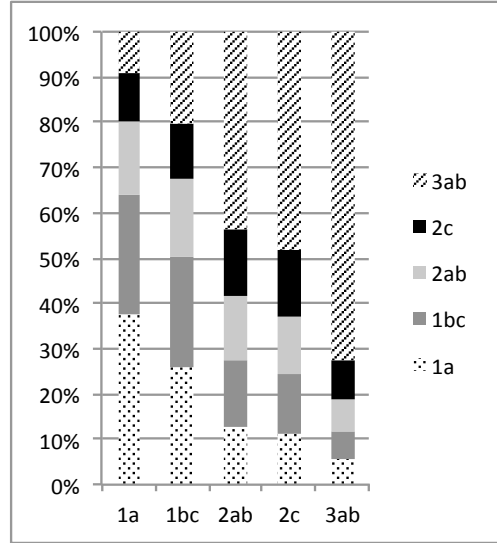
¹⁶ An average of 4 connections per agent, 10% of heterophily links.

¹⁷ The dissimilarity index ranges from 11.04 to 13.28.

GRAPH 1.A. Real distribution of education levels by parents' education levels (sample of French population)



GRAPH 1.B. Simulated distribution of education levels by parents' education level (average of 100 simulations)



Note: The columns represent education levels reached by the individuals in the sample (1a being the lowest and 3ab the highest). The percentages within each column indicate the proportion of individuals in each level that come from each of the five levels. Thus, in graph 1.A., the first column shows that almost 50% of the individuals with level 1a are children of individuals with that same level, and only 10% are children of persons that reached level 3ab. The rest of the columns are read in an identical manner.

Source: By author based on data published by Gianluca Manzo (2013).

Manzo's explanation of the structure of educational inequality in France not only fits the actual data very well, but has important implications in relation to other theoretical approaches to the problem. First, the generative sufficiency of the model suggests that the central theses of theories of reproduction may have little heuristic power: the cultural characteristics of the institutional framework *may not* play any significant role in the generation of educational inequalities. The Manzo model then, does not discard that these characteristics play a role, but does show that *they are not necessary* to construct a logical, coherent explanation that fits reality and explains educational inequalities.

Secondly, the model also shows that the typical variables used in the statistical mod-

els of the human capital theoretical tradition *are not sufficient* to produce a satisfactory explanation: although the variables characteristic of *rational choice* approaches to the problem are necessary to generate educational inequalities, it is not possible to account for the real magnitude of these inequalities without a mechanism accounting for the social influence that operates through social networks.

Looking beyond the example, it should be said that in general terms, the strategy of explaining patterns of behaviour through the generative method of agent-based-models has advantages over other alternative theories in at least four ways: First, it is capable of successfully overcoming the problem of the relationship between micro and macro

levels, through a methodology that follows the interactionist model of transition characteristic of sociology. Secondly, the use of computational models is a guarantee of conceptual precision and logical rigour for an obvious reason: they could not function in any other way. Thirdly, although the simplicity of the explanation is not guaranteed *per se*, programming best practices stimulate the generation of parsimonious models; if not, analysis of them would end up being technically impossible. Lastly, the type of experimentation *in silico* inherent to this methodology (the deliberate activation or deactivation of specific subroutines of the programme to evaluate their consequences) permits us to effectively determine which mechanisms are sufficient to explain the behaviour that is the object of study, and which are unnecessary. A corollary of all this is that ABMs are well-suited tools to build a very particular body of knowledge, something to which sociologists have always aspired to, namely, a science of the unintentional consequences of action.

ACKNOWLEDGEMENTS AND RECOGNITION OF FINANCING

I would like to thank the two anonymous reviewers of the REIS for their detailed comments, which have allowed me to significantly improve the original text. The defects that remain are wholly the responsibility of this author. The present text is a result of work carried out under the Spanish R&D&I project CSO2012-31401 financed by the Ministry of Economy, Industry and Competitiveness (MINECO) as part of the "RETOS" call for research of the National Plan for R&D&I.

BIBLIOGRAPHY

- Alexander, Jeffrey C. and Giesen, Bernahrd (1987). "From Reduction to Linkage: The Long View of the Micro-Macro Link". In: Alexander, Jeffrey C. *et al.* (eds.). *The Micro-Macro Link*. Berkeley: University of California Press.
- Axelrod, Robert (2003). *La complejidad de la cooperación*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Becker, Gary (1993). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. Chicago: The University of Chicago Press. (3rd. ed.).
- Berger, Peter and Luckmann, T. (1968). *La construcción social de la realidad*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Bianchi, Federica and Squazzoni, F. (2015). "Agent-based Models in Sociology". *WIREs Comput Stat* 2015. Doi: 10.1002/wics.1365
- Boudon, Raymond (1973). *L'Inégalité des Chances*. Paris: Colin.
- Boudon, Raymond (1981). *La Lógica de lo Social: Introducción al Análisis Sociológico*. Barcelona: Rialp.
- Boudon, Raymond (1996). "The Cognitivist Model. A Generalized Rational Choice Model". *Rationality and Society*, 8(2): 123-150.
- Bourdieu, Pierre (1980). "Le capital social: notes provisoires". *Actes de la Recherche en Science Sociales*, 31: 2-3.
- Bourdieu, Pierre (1986). "The forms of capital". In: Richardson, J. G. (ed.). *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*. Westport, Connecticut: Green Wood.
- Bourdieu, Pierre and Passeron, Jean-Claude (1990). *Reproduction in Education, Society and Culture*. London: Sage Publications Ltd.
- Breen, Richard and Goldthorpe, J. (1997). "Explaining Educational Differentials: Toward a Formal Rational Choice Theory". *Rationality and Society*, 9(3): 275-305.
- Bunge, Mario (1999). *La relación entre la sociología y la filosofía*. Madrid: Edaf.
- Bunge, Mario (2013). *La ciencia. Su método y su filosofía*. Pamplona: Laetoli.
- Camerer, Collin (2003). *Behavioral Game Theory: Experiments on Strategic Interaction*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Coleman, James S. (1966). *Equality and Educational Opportunity*. Washington, U.S.: Department of Health, Education, and Welfare.

- Coleman, James S. (1988). "Social Capital in the Creation of Human Capital". *American Journal of Sociology*, 94: 95-121.
- Coleman, James S. (2011). *Fundamentos de Teoría Social*. Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Coleman, James S.; Katz, E. and Menzel, H. (1957). "The Diffusion of an Innovation among Physicists". *Sociometry*, 20: 253-270.
- Collins, Randall (2009). *Cadenas de Rituales de Interacción*. Barcelona: Anthropos.
- Elster, Jon (1990). *Tuercas y tornillos para las ciencias sociales*. Barcelona: Gedisa.
- Epstein, Josua M. and Axtell, Robert (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Washington, D.C.: The Brookings Institution.
- García-Valdecasas, José I. (2014). "Explicación, mecanismo y simulación: otra forma de hacer sociología". *EMPIRIA, Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 28: 35-58.
- García-Valdecasas, José I. (2016). *Simulación basada en agentes. Introducción a Netlogo*. Madrid: CIS.
- Gilbert, Nigel (2008). *Agent-Based Models*. London: Sage Publications.
- Gilbert, N. and Troitzsch, K. G. (2006). *Simulación para las Ciencias Sociales*. Madrid: Mc GrawHill.
- Goldthorpe, John (2016). *Sociology as a Population Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Granovetter, Mark (1978). "Threshold Models of Collective Behavior". *American Journal of Sociology*, 83(6): 1420-1443.
- Güth, Werner; Schmittberger, Rolf and Schwarze, Bernd (1982). "An Experimental Analysis of Ultimatum Bargaining". *Journal of Economic Behavior and Organization*, 3(4): 367-388.
- Hedström, Peter (1998). "Rational Imitation". In: Peter Hédstrom, P. and Swedberg, R. (eds.). *Social Mechanisms*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hedström, Peter (2005). *Dissecting the Social: On the Principles of Analytical Sociology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hedström, Peter and Swedberg, Richard (1996). "Social Mechanisms". *Acta Sociologica*, 39: 281-308.
- Hedström, Peter and Ylikoski, P. (2010). "Causal Mechanisms in the Social Sciences". *Annual Review of Sociology*, 36: 49-67.
- Hedström, Peter and Bearman, Peter (eds.) (2009). *The Oxford Handbook of Analytical Sociology*. Oxford: Oxford University Press.
- Hempel, Carl G. (1965). *Aspects of Scientific Explanation*. New York: The Free Press.
- Holland, John H. (1998). *Emergence: From Chaos to Order*. New York: Basic Books.
- Holland, John H. (2004). *El orden oculto: De cómo la adaptación crea la complejidad*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Homans, George C. (1970a). "Procesos sociales fundamentales". In: Smelser, Neil J. (ed.). *Sociología*. Madrid: Fundación Foessa.
- Homans, George C. (1970b). *La Naturaleza de la Ciencia Social*. Buenos Aires: Editorial Universitaria.
- Linares, Francisco (2018). *Sociología y teoría social analíticas*. Madrid: Alianza Ed.
- Manzo, Gianluca (2013). "Educational Choices and Social Interaction: A Formal Model and a Computational Test". *Class and Stratification Analysis Comparative Social Research*, 30: 47-100.
- Merton, Robert K. (1936). "The Unanticipated Consequences of Purposive Social Action". *American Sociological Review*, 1: 894-904.
- Merton, Robert K. (1992a). "Sobre las teorías sociológicas de rango intermedio". In: *Teoría y estructura sociales*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Merton, Robert K. (1992b). "La profecía que se cumple a sí misma". In: *Teoría y estructura sociales*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Opp, Karl D. (2014). "The Explanation of Everything: A Critical Assessment of Raymond Boudon's Theory Explaining Descriptive and Normative Beliefs, Attitudes, Preferences and Behavior". *Papers. Revista de Sociología*, 99(4): 481-514.
- Portes, Alejandro (1998). "Social Capital: Its Origins and Applications in Modern Sociology". *Annual Review of Sociology*, 24: 1-24.
- Portes, Alejandro (2000). "The Hidden Abode: Sociology as Analysis of the Unexpected". *American Sociological Review*, 65: 1-18.
- Schelling, Thomas C. (1989). *Micromotivos y macroconducta*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Simon, Herbert (1982). *Models of Bounded Rationality*. Cambridge: MIT Press.

- Squazzoni, F. (2012). *Agent-Based Computational Sociology*. Singapur: Wiley.
- Stinchcombe, Arthur L. (1991). "The Conditions of Fruitfulness of Theorizing about Mechanisms in Social Science". *Philosophy of the Social Sciences*, 21(3): 367-388.
- Watts, Duncan (2015). "Common Sense and Sociological Explanations". *American Journal of Sociology*, 120(2): 313-351.
- Weber, Max (1944). *Economía y Sociedad. Esbozo de sociología comprensiva*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Weber, Max (1984). *La acción social: Ensayos metodológicos*. Barcelona: Ediciones Península.
- Wright, Georg H. von (1979). *Explicación y comprensión*. Madrid: Alianza Editorial.

RECEPTION: February 15, 2017

REVIEW: April 4, 2017

ACCEPTANCE: June 23, 2017

