
APLICACIONES DE LA ECONOMÍA COMPUTACIONAL Y LA TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD

*Jorge Andrés Gallego**

¿Es la racionalidad una consecuencia de la evolución y no una hipótesis sobre el comportamiento de los agentes? Alguna vez tuve la oportunidad de presenciar un experimento realizado por un grupo de biólogos que obligaban a una colonia de hormigas, aprisionada en un recipiente cerrado, a aguantar hambre durante varios días. Después de cierto tiempo, se conectó el recipiente de las hormigas a otro recipiente que contenía azúcar. Dos caminos enlazaban ambos recipientes: uno largo y uno corto, pues el propósito de los experimentadores era determinar qué camino seguirían estos insectos intencionalmente desnutridos.

Seguramente algún bienintencionado microeconomista, al que se le pidiera proponer una teoría del comportamiento de las hormigas en esta situación, no escatimaría esfuerzos para construir un modelo elegante digno de publicación internacional. Las hormigas –luego de maximizar su utilidad, que dependería literalmente de la cantidad de azúcar consumida individualmente y atesorada en el nido artificial, de la cantidad de energía utilizada, la distancia recorrida en el proceso, el tiempo empleado para conseguir el alimento y uno que otro parámetro de interés– decidirían unánimemente elegir el camino corto. Dicha elección sería el resultado de un proceso sofisticado en el que se procesaron grandes cantidades de información y refinados cálculos matemáticos llevaron a que las hormigas tomaran la decisión adecuada. Uno que otro teorema de dualidad comprobaría que el

* Magíster en Economía, profesor de la Universidad Javeriana y de la Universidad Externado de Colombia, Bogotá, Colombia, jorgeandresgallego@lycos.com Fecha de recepción: 18 de septiembre de 2007, fecha de modificación: 24 de septiembre de 2007, fecha de aceptación: 4 de octubre de 2007.

resultado sería idéntico si el objetivo no fuera maximizar la utilidad sino minimizar el gasto individual de energía necesario para alcanzar cierta restricción metabólica inherente a la naturaleza biológica de tan interesantes insectos sociales.

Un biólogo estallaría en una carcajada al oír semejante descripción de la conducta de las hormigas. Pero al destapar el recipiente los biólogos ven que, después de algunos minutos, las aparentemente “irracionales” hormigas terminan utilizando eficientemente el camino corto entre su recipiente y el que contiene el azúcar. La predicción microeconómica sería acertada y Milton Friedman se habría llenado de argumentos para confiar en esta *teoría económica de las hormigas hambrientas*. Un volumen posterior, tal vez editado por Becker y titulado *Ants Economics*, no tardaría en salir al mercado. En *Insectonomics*, Levitt encontraría relaciones de causalidad no evidentes entre el comportamiento de las hormigas y la legalización del aborto en algunos Estados de la Unión, por ejemplo.

No es por cálculos racionales y hedonistas que las hormigas siguen el camino eficiente en el sentido de Pareto. Es una consecuencia de la acumulación de feromonas y de su predisposición a seguir el olor. La elección racional es una consecuencia de la evolución en este caso. Y lo interesante es que un grupo formado por agentes aparentemente no racionales termina comportándose, en términos agregados, de manera racional. Un claro ejemplo de lo que algunos llaman *inteligencia colectiva*.

Hace algunos meses, el economista norteamericano Stephen Guerin presentó una versión similar de este experimento de las hormigas en la Escuela de Verano en Sistemas Complejos del Instituto Santa Fe, Nuevo México. El mismo ejercicio fue replicado por este investigador en el Quinto Simposio Nacional de Microeconomía, realizado entre el 25 y el 27 de julio de 2007 en las universidades Externado y Nacional. Guerin presentó una simulación computacional del experimento utilizando la *modelación basada en agentes*. Las hormigas abandonan su recipiente y ubican erráticamente, mediante movimientos aleatorios, el recipiente con el azúcar. Un obstáculo que divide la plataforma permite identificar caminos cortos y largos de un recipiente al otro. Las hormigas están programadas para liberar feromonas durante su tránsito por cada grilla, y éstas, a su vez, se evaporan con el tiempo. Los insectos se ven atraídos por los caminos en los que se acumulan feromonas. ¿Qué camino siguen las hormigas?

Luego de algún tiempo, las hormigas se coordinan en un camino corto de un recipiente al otro. A pesar de que inicialmente cada

una sigue un comportamiento errático y aleatorio, la simple regla de atracción hacia las feromonas produce un comportamiento colectivamente eficiente después de pocos períodos. De las interacciones locales entre agentes con racionalidad acotada emerge un resultado agregado inesperado y no intencionado, sin que un planificador central medie para que los agentes terminen coordinados en la elección de las estrategias “socialmente óptimas”. En otras palabras, “las hormigas son llevadas por una mano invisible a conseguir un resultado socialmente deseable”. Un ejemplo interesante de cómo las herramientas computacionales y la simulación de sociedades artificiales pueden servir para describir y analizar algunas propiedades sobresalientes de los sistemas complejos.

En su conferencia, Guerin presentó algunas aplicaciones de la economía computacional y de la teoría de la complejidad. En sus palabras, las simulaciones computacionales y la modelación basada en agentes se consolidan como un tercer brazo de la ciencia, además de las herramientas teóricas y experimentales comúnmente empleadas. En economía, estas técnicas son un complemento interesante del análisis convencional en situaciones en las que las ecuaciones de un modelo son insuficientes para revelar las propiedades fundamentales de ciertos sistemas.

Para Bonabeau (2002), al usar la modelación basada en agentes, un sistema se representa mediante la colección de entidades autónomas que toman decisiones: los agentes. Cada agente toma decisiones de acuerdo con la situación siguiendo un conjunto establecido de normas de comportamiento. Aun los modelos más simples pueden exhibir patrones complejos, y el valor del modelo es que proporciona información valiosa sobre la dinámica del sistema real que emula. En nuestro ejemplo, la colonia es un sistema formado por agentes llamados hormigas, que deciden qué camino seguir en su búsqueda y recolección de alimento, y que obedecen a la regla de sentirse atraídos por los caminos en que se acumula mayor cantidad de feromonas.

Los sistemas complejos parecen haber encontrado en las herramientas computacionales un escenario natural en el cual los investigadores logran corroborar teorías existentes o proponer nuevas explicaciones. Según Arthur, Durlauf y Lane (1997), seis características definen a los sistemas complejos: 1) existe interacción dispersa entre agentes heterogéneos¹ que actúan localmente entre ellos en algún espacio; 2)

¹ Los modelos más simples pueden incluir agentes homogéneos.

no existe un controlador global; 3) hay una organización jerárquica transversal; 4) los agentes se adaptan continuamente mediante procesos de aprendizaje y evolución; 5) existe innovación permanente, y 6) las dinámicas por fuera del equilibrio son clave, con la posibilidad de equilibrios múltiples o ausencia de equilibrio.

Estas características evidencian que la modelación basada en agentes y la economía computacional son herramientas importantes para el estudio de sistemas sociales complejos. Los modelos microeconómicos y macroeconómicos convencionales suelen seguir una dirección “de arriba hacia abajo”, pues las variables agregadas del sistema bajan e influyen en la elección individual. El ingreso y los precios determinan la elección del consumidor y la tasa de interés condiciona su elección intertemporal, por ejemplo. Mediante agentes representativos y comportamientos promedio, los modelos suelen tomar un atajo al momento de afrontar el problema de la agregación. Sin embargo, en los sistemas complejos suele ser fundamental cambiar la dirección y proponer modelos “de abajo hacia arriba”: las interacciones individuales generan comportamientos agregados. Además, existe una retroalimentación constante, porque los agentes, que en su mayoría carecen de grandes habilidades cognitivas y cuya racionalidad es acotada, aprenden y se adaptan a partir de los resultados agregados que se van presentando. Pero la representación de los sistemas complejos adaptativos da origen a sistemas dinámicos no lineales, cuya solución analítica es, en el mejor de los casos, difícil, y la mayor parte de las veces, imposible. Por esta razón, la modelación basada en agentes, con sus técnicas computacionales inherentes, se ha consolidado como un mecanismo apropiado para estudiar sociedades compuestas por agentes heterogéneos cuya racionalidad es acotada, que la mayor parte del tiempo se encuentran por fuera del equilibrio, y cuyo comportamiento evoluciona y se adapta a medida que los individuos aprenden e imitan el comportamiento de los demás.

En palabras de Miller y Page (2007, 10):

Cuando un científico se enfrenta a un mundo complicado, las herramientas tradicionales que se basan en reducir el sistema a sus elementos atómicos nos permiten alcanzar cierto entendimiento. Desafortunadamente, el uso de estas mismas herramientas para entender mundos complejos falla, porque se vuelve imposible reducir el sistema sin matarlo. La habilidad para recolectar y colgar en un tablero a todos los insectos que viven en un jardín sirve de poco para entender el ecosistema allí contenido.

En el experimento descrito, para entender el comportamiento ordenado de las hormigas no habría sido suficiente tomar una sola. De

hecho, no podríamos predecir correctamente su comportamiento si tomamos una hormiga representativa y analizamos su conducta aisladamente, pues el comportamiento errático inicial y la aleatoriedad en la elección del camino a seguir harían muy difícil predecir que elegirá el camino eficiente. En este caso, la autoorganización emerge como consecuencia de las interacciones locales de las hormigas, cada una siguiendo las feromonas de las demás. La adaptación y el aprendizaje son fundamentales, pues cada hormiga aprende a seguir las rutas en las que se han acumulado más feromonas.

Temas como éste, en los que la autoorganización, la emergencia, la adaptación y la evolución de un sistema complejo son fundamentales, fueron el eje de la presentación de Guerin en Colombia. En el marco del Quinto Simposio Nacional de Microeconomía, su conferencia fue enriquecedora no sólo porque presentó algunas de las principales características de la economía computacional sino también porque mostró aplicaciones directas que ha hecho su empresa en Estados Unidos. Entre 2000 y 2002, Guerin formó parte del BiosGroup, organización con ánimo de lucro que fundó el biólogo Stuart Kauffman para comercializar la ciencia de la complejidad y aplicarla a la solución de problemas empresariales. Antes, en 1991, ya había fundado RedFish Group con propósitos similares, cuyas principales aplicaciones se presentaron en su conferencia plenaria.

El Simposio contó más de trescientos asistentes de todo el país, que tuvieron la oportunidad de conocer algunos de los trabajos más importantes que se han desarrollado en esta área durante los últimos años. Además, como en pasadas ocasiones, los cursos tutoriales en temas básicos y de frontera fueron del mayor interés para los asistentes. El Simposio sigue consolidándose como un espacio de encuentro para investigadores colombianos de todas las regiones que se reúnen cada año en Bogotá. En hora buena seguimos contando con este espacio para discutir temas de frontera, como los que Stephen Guerin presentó este año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bonabeau, E. "Agent-based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 99", *PNAS* 99, 3, 2002, pp. 7280-7287.
2. Arthur, B.; S. Durlauf y D. Lane, eds. *The Economy as an Evolving Complex System II*, Reading, Addison-Wesley, 1997. Citado en J. Barkley. "On

- the Complexities of Complex Economic Dynamics”, *Journal of Economic Perspectives* 13, 4, 1999, pp. 169-192.
3. Miller, J. y S. Page. *Complex Adaptive Systems*, Princeton, Princeton University Press, 2007.