

Juegos evolutivos y cooperación en poblaciones estructuradas: el papel de la estructura social y la dinámica evolutiva

Carlos P. Roca*, José A. Cuesta, Angel Sánchez
Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos (GISC)[†]
Departamento de Matemáticas
Universidad Carlos III de Madrid
28911 Leganés

La cooperación es una fuerza primaria de la evolución, estando presente en todas las escalas de organización, desde los organismos unicelulares hasta las sociedades humanas más complejas¹. Por este motivo, explicar la aparición y estabilización del comportamiento cooperativo se ha convertido en un problema fundamental en biología, economía, sociología y otras ciencias de la conducta. La teoría de juegos evolutivos se ha establecido como una de las aproximaciones más fructíferas a este problema, mediante el estudio de modelos evolutivos basados en dilemas sociales².

Entre los mecanismos propuestos para explicar la emergencia de la cooperación destaca como uno de los más potentes la estructura de la población. Por ella entendemos que los individuos no interactúan todos entre sí, sino que cada uno lo hace con un cierto subconjunto de vecinos, de acuerdo con una red de enlaces que define la estructura social de la población. Esta idea fue introducida por Nowak y May a principios de los noventa³, iniciando una línea de investigación que sigue activa en la actualidad⁴.

Sin embargo, estudios recientes han puesto en tela de juicio la generalidad de esta capacidad de la estructura social para fomentar la cooperación. Hauert y Doebeli⁵, por una parte, y Sysi-Aho, Saramäki *et al*⁶, por otra, han estudiado la influencia de la estructura de la población sobre un dilema social distinto del que emplearon Nowak y May, usando además sendas dinámicas evolutivas diferentes. Ambos estudios muestran una inesperada inhibición de la cooperación. Esta contradicción resulta especialmente llamativa considerando que Nowak y May hicieron uso del Dilema del Prisionero⁷, el juego 2×2 más exigente desde el punto de vista de la cooperación, mientras que los dos estudios más recientes han empleado el Juego de la Ventisca (*Snowdrift*)⁷, en el que la cooperación, en general, es más fácil que perdure.

Posteriormente, Santos, Pacheco *et al*⁸ han estudiado el efecto de una topología de red diferente, scale-free en vez de red regular, encontrando un refuerzo muy alto de la cooperación, especial y precisamente en el Juego de la Ventisca.

Llegados a este punto, no es razonable dudar de que la estructura social tiene una fuerte influencia en la evolución de la cooperación, y que esta influencia es positiva en un importante número de casos. No obstante, el efecto de cada topología de red no se conoce adecuadamente, en el sentido de que no se tiene una imagen global de ese efecto

para los distintos tipos de juegos y la influencia en cada caso de la dinámica evolutiva. Tal y como un *review*⁴ valora, el énfasis tradicional en el Dilema del Prisionero, junto con el enorme número de parámetros involucrados, han motivado la falta de estudios sistemáticos en este campo.

Nuestra aproximación al problema ha consistido en realizar, en primer lugar, una simulación sistemática y exhaustiva de este tipo de modelos, con objeto de aislar la influencia de cada elemento: juego, red, dinámica evolutiva y régimen de tiempo. Esto nos ha permitido establecer la influencia de cada topología de red en la evolución de la cooperación, en relación con cada dilema social y bajo diferentes dinámicas evolutivas y regímenes de tiempo. Hemos considerado redes regulares, aleatorias, scale-free y small-world⁹, en combinación con las siguientes dinámicas evolutivas: replicador, replicador múltiple, Moran e imitación incondicional², y bajo regímenes de tiempo síncrono y asíncrono. Hemos estudiado el resultado evolutivo de estos modelos sobre el espacio bidimensional de los juegos simétricos 2×2 , concentrándonos en la región clave que incluye los siguientes dilemas sociales: Armonía, Caza del Ciervo (*Stag-Hunt*), Juego de la Ventisca (*Snowdrift*) y Dilema del Prisionero⁷.

Además de identificar los patrones de regularidad en el comportamiento asintótico de estos modelos, hemos analizado su dinámica, encontrando que estas regularidades se corresponden con mecanismos básicos en la mesoescala de los grupos de cooperadores, especialmente en lo que concierne a su formación y estabilidad.

* cproca@math.uc3m.es

† <http://gisc.uc3m.es/>

¹ J. Maynard Smith, E. Szathmáry, *The Major Transitions in Evolution* (Oxford University Press, 1998).

² J. Hofbauer, K. Sigmund, *Evolutionary Games and Population Dynamics* (Cambridge University Press, 1998).

³ M.A. Nowak, R.M. May, *Nature* **359**, 826 (1992).

⁴ G. Szabó, G. Fáth, *Phys. Rep.* **446**, 97 (2007).

⁵ C. Hauert, M. Doebeli, *Nature* **428**, 643 (2004).

⁶ M. Sysi-Aho, J. Saramäki *et al*, *Eur. Phys. J. B* **44**, 129 (2005).

⁷ H. Gintis, *Game Theory Evolving* (Princeton University Press, 2000).

⁸ F.C. Santos, J.M. Pacheco *et al*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **103**, 3490 (2006).

⁹ R. Albert, A.-L. Barabási, *Rev. Mod. Phys.* **74**, 47 (2002).