

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador

Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio

Convocatoria 2018-2020

Tesis para obtener el título de maestría de Investigación en Economía del Desarrollo

Estructuras sociales y balance cooperación-competencia

David Santiago Parra Puente

Asesor: Wilson Pérez

Lectores: María Cristina Vallejo y John Cajas Guijarro

Quito, noviembre de 2023

## **Dedicatoria**

A todos los seres que cooperan por un mundo vivible.

## **Epígrafe**

Pero el núcleo de instituciones, hábitos y costumbres de ayuda mutua continúa existiendo en millones de hombres; ese núcleo los une, y los hombres prefieren aferrarse a esos hábitos, creencias y tradiciones suyas antes que aceptar la doctrina de una guerra de cada uno contra todos, ofrecida en nombre de una pretendida ciencia, pero que en realidad no tiene nada en común con la ciencia.

- Piotr Kropotkin, *Apoyo Mutuo*

## Índice de contenidos

Resumen .....	7
Introducción .....	9
Capítulo 1. De <i>homo oeconomicus</i> a <i>homo reciprocans</i> .....	13
1.1. ¿Homo homini lupus? .....	13
1.2. Desafiando al sistema: cooperativismo y socialismo .....	14
1.3. Fuera de la burbuja.....	18
1.4. Juegos mentales .....	21
Capítulo 2 De <i>homo darwinianus</i> a <i>homo reciprocans</i> ... pasando por <i>Homo sapiens</i> .....	25
2.1. Homo darwinianus .....	26
2.2. Modus cooperandi .....	29
2.3. ¿Todos contra todos?.....	33
2.4. Síntesis cooperación-competencia .....	34
Capítulo 3 Metodología .....	39
3.1. Definiciones .....	39
3.2. El juego.....	46
3.3. Diseño experimental .....	54
Capítulo 4 Resultados.....	58
4.1. Reciprocidad.....	58
4.2. Selección grupal .....	61
Conclusiones .....	66
Referencias .....	71

## Lista de ilustraciones

### Figuras

3.1. Red económica no dirigida y matriz de adyacencia A.....	39
3.2. Red económica dirigida y matriz de adyacencia E.....	40
3.3. El grupo como centro de redistribución.....	44
3.4. Ejemplo de tipos de grafos grupales.....	45
3.5. Ejemplo de red inicial para la simulación.....	48
3.6. Red luego de $\tau$ rondas de juego.....	52
3.7. Red luego de la ronda de redistribución.....	54
3.8. Estructuras de los grupos.....	56
4.1. Relación entre cooperación y proporción de tipos de socios.....	59
4.2. Relación entre reservas grupales y presión selectiva entre grupos.....	63
4.3. Relación reservas grupales - conectividad y reservas grupales - tipos de empresas.....	63

### Tablas

3.1. Matriz de adyacencia y submatrices de interacciones.....	49
4.1. Resultados de la regresión sencilla sobre los aportes a la reserva común.....	58
4.2. Resultados de la regresión con interacciones sobre los aportes a la reserva común.....	60
4.3. Resultados de la regresión sencilla sobre la acumulación total de reservas.....	62
4.4. Resultados de la regresión con interacciones sobre la acumulación de reservas.....	64

## **Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesis**

Yo, David Santiago Parra Puente, autor de la tesis titulada "Estructuras sociales y balance cooperación-competencia" declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de maestría de Investigación en Economía del Desarrollo concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, noviembre de 2023



---

David Santiago Parra Puente

## Resumen

La competencia es protagonista indiscutible de la teoría económica, incluso entre las corrientes llamadas heterodoxas; mientras que la cooperación ocupa un papel marginal o es ignorada por completo. La economía popular y solidaria destaca como mayor excepción, dedicándose al estudio y promoción del cooperativismo, como alternativa a la empresa convencional. Sus proponentes plantean que la reciprocidad es el mecanismo que explica su surgimiento; aunque no ofrecen formalizaciones teóricas sino principalmente argumentos ideológicos, históricos y antropológicos, especialmente a través del enfoque sustantivista de Karl Polanyi. Desde la economía del comportamiento también se ha tratado la relación reciprocidad-cooperación, pero con un enfoque experimental y la aplicación de teoría de juegos; que le han valido buenos resultados y aceptación creciente en el ámbito académico. Sin embargo, a pesar de sus coincidencias, el diálogo entre ambas escuelas es prácticamente inexistente.

Por otro lado, tanto cooperación como competencia han sido ampliamente estudiadas en varias disciplinas de la biología con el uso de sistemas dinámicos, teoría de grafos, juegos evolutivos y otras herramientas, además de validaciones empíricas. Con el correr del tiempo, se ha generado un consenso que reconoce la importancia de ambas fuerzas, antagónicas y complementarias, en el balance de la vida. La contienda teórica más polémica, en el campo de la evolución, se resolvió justamente gracias a un concepto de reciprocidad análogo al usado en economía.

El presente trabajo aprovecha estas coincidencias para probar la hipótesis reciprocidad-cooperativismo, usando un juego evolutivo adaptado al marco teórico de la economía popular y solidaria. Este incluye los conceptos polanyianos de redistribución, reciprocidad e intercambio, así como una distinción estructural entre empresas cooperativas y capitalistas. La estructura social es representada por una red que determina las interacciones entre agentes. A diferencia de otros modelos, cuenta con una regla de votación que transmite las decisiones individuales hacia el grupo y con juegos simultáneos en ambos niveles. Esta característica permite probar también la teoría de selección multinivel, que es otro mecanismo conocido para la evolución de la cooperación. Los resultados obtenidos respaldan la importancia de ambos procesos y ofrecen perspectivas para posteriores aplicaciones en favor del movimiento cooperativo.

## **Agradecimientos**

Agradezco a FLACSO-Ecuador por la oportunidad. Toda esta historia hubiera sido imposible sin la beca recibida.

Y, por supuesto, a mi familia por su apoyo emocional y "logístico" desde el proceso de aplicación hasta el final:

A mi esposa María del Carmen, por ser la mejor compañera de viaje, en cuestas y bajadas, con su amor, guía y respaldo.

A mis hijos José David, Kamila, Nicolás y Zoe por ser la mayor motivación para levantarme y caminar con paso firme.

A mis padres Anita y David, por enseñarme a andar y apoyarme siempre a seguir, sin importar el camino.

## Introducción

Si se define la competencia como el conflicto de intereses generado por la búsqueda de beneficios individuales (motivación egoísta), la cooperación sería justo lo contrario: la coincidencia de intereses generada por la entrega de beneficios (motivación altruísta). Una de las principales explicaciones del fenómeno de la cooperación es que promueve el beneficio mutuo entre los participantes, dada la oportunidad de ser recíprocos. Esta conclusión se ha alcanzado por diversos caminos (teoría de juegos, simulaciones computacionales, experimentación, observación) en disciplinas tan variadas como ecología, evolución, etología, psicología evolutiva, antropología económica e historiografía. No obstante, a pesar de tener implicaciones muy similares, su nivel de aceptación ha sido limitado en el ámbito económico, donde predomina la competencia como fundamento teórico del comportamiento humano. Este sesgo ocurre tanto en la corriente principal o neoclásica, como en la mayoría de las escuelas llamadas “heterodoxas”.

La economía neoclásica construyó un sofisticado marco teórico sobre los cimientos de su modelo competitivo e individualista del comportamiento humano, para quien reclamó el título de “racional”, lo cual implica que si la cooperación existe es rara e irracional. Sin embargo, a pesar de la hegemonía conquistada en este campo de las ciencias sociales, el *homo oeconomicus* es más bien una curiosidad en medio de una satírica multitud de homínidos teóricos: *homo sociologicus*, *homo politicus*, *homo socioeconomicus*, *homo hobbesianus*, *homo darwinianus*, *homo solidarius*, *homo heroicus*, *homo faber*, *homo erroneus*, *homo islamicus*, *homo sovieticus*, *homo orthodox*... (O’Boyle 2007; Dohmen et al. 2009).

Este estudio se concentra en su adversario más serio, el *homo reciprocans* (O’Boyle 2007; Dohmen et al. 2009, 2006), que cumple con las cualidades prescritas por los entusiastas de la economía popular y solidaria: coopera y forma estructuras sociales basadas en la entrega de beneficios y el apoyo mutuo (Caillé 2009, Carranza 2013, Laville 2009a). Sin embargo, su bautizo proviene de otra corriente heterodoxa, la economía del comportamiento, que ha aplicado exitosamente un enfoque experimental sobre la base de la psicología evolutiva y la teoría de juegos.

Curiosamente, la teoría de juegos fue desarrollada por von Neumann y Morgenstern para estudiar el comportamiento del *homo oeconomicus*. Pero por alguna razón cayó en manos de Maynard-Smith y Price, interesados en estudiar el comportamiento altruista de otras especies.

Este inesperado giro dio origen a los juegos evolutivos, que tras décadas de simulaciones computacionales y estudios empíricos generaron un amplio consenso en la biología sobre la importancia de la reciprocidad como mecanismo para el surgimiento de la cooperación en entornos competitivos.

La aplicación de este enfoque en humanos demostró una gran capacidad predictiva y pronto fue adoptado por la economía del comportamiento. El *homo reciprocans* logró explicar el comportamiento “irracional”, que evidentemente es mucho más común de lo que asume la corriente neoclásica. Esto no significa, por supuesto, que el comportamiento competitivo sea menos importante. Diversos estudios demuestran que estas estrategias coexisten en la población e incluso la misma persona, manifestándose según las circunstancias (Fehr y Gächter 2000; Dohmen et al. 2006). Como alternativa, Elsworth (1993) propone un modelo que incorpora ambas facetas, el *homo biologicus*; mientras que Richard Thaler (2000) va más allá, argumentando que el *homo oeconomicus* deberá evolucionar hacia el *Homo sapiens* como tal (que por algo va con mayúscula), a medida que aumente nuestra comprensión del comportamiento humano.

Volviendo al *homo reciprocans*, hay que reconocer que los antropólogos lo descubrieron en persona, antes que biólogos y economistas, gracias a numerosos estudios etnográficos alrededor del mundo. Figuras como Mauss y Sahlins sistematizaron los resultados de la observación de sociedades reales en contextos culturales diversos y desarrollaron un concepto de reciprocidad análogo al de los juegos evolutivos: la entrega de regalos o favores genera una sensación de deuda en el receptor y una expectativa de retribución en el donante (Graeber 2001; Mauss 1924; Sahlins 2017). Además argumentan que por esta razón, a diferencia de las relaciones comerciales, la reciprocidad tiene una importancia crucial en la generación de las estructuras cooperativas que mantienen la cohesión del tejido social.

Poco después, el austro-húngaro Karl Polanyi recogió el enfoque etnográfico-estructuralista de los antropólogos y agregó una dimensión histórica para explicar el desarrollo de la economía y su marco institucional en varias sociedades y épocas. Su relación con el movimiento cooperativo es poco clara, pero su obra ha sido muy influyente en el desarrollo posterior de la teoría de la economía popular y solidaria. Sus promotores, principalmente europeos y latinoamericanos, parten de este enlace entre reciprocidad y economía para explicar y respaldar el movimiento cooperativo.

Sin embargo, si estos descubrimientos (occidentales) del *homo reciprocans* fueron *in silico* e *in campo*, se puede decir que el primero fue *in fabrica*. En pleno auge industrial europeo, las duras condiciones socioeconómicas de la nueva clase obrera promovieron el surgimiento del movimiento cooperativo. Con el fin de acceder a productos de primera necesidad, dados sus limitados ingresos, los obreros formaron cooperativas de consumo. Otros iniciaron emprendimientos productivos para aprovechar todo el valor de su trabajo o crearon cajas de ahorro para generar sus propias líneas de crédito. Al menos inicialmente, su objetivo no era el lucro sino el apoyo mutuo para enfrentar la pobreza.

Muchas de sus prácticas estaban fundamentadas en relaciones de reciprocidad, pero pasaron casi desapercibidos para los académicos de entonces. La excepción fueron los socialistas utópicos, que además de escribir tratados y gacetas de corte filosófico o moral, establecieron comunidades basadas en los principios cooperativos. Pensadores de otras líneas socialistas, incluyendo el propio Marx, tuvieron cierto coqueteo con el movimiento cooperativo sin concretar alianzas duraderas (Burdín y Dean 2009; Ji 2019; Jossa 2005). Lo mismo sucedió con algunos movimientos solidarios de la iglesia. Por lo tanto, se podría decir que el *homo reciprocans* compartió su incubadora industrial con el *homo faber* y el *homo solidarius*.

Ni las comunidades cooperativas ni sus primeros padrinos sobrevivieron a los rigores del tiempo; pero el cooperativismo persistió, como movimiento y como estrategia económica, con un enfoque más bien pragmático. Más tarde, la tradición antropológica interpretaría este fenómeno como una reencarnación del clásico *homo reciprocans* en el contexto cultural de la modernidad occidental. Por su parte, los herederos de Polanyi incorporaron esta visión como fundamento de la economía popular y solidaria, que se posicionó como respaldo teórico del movimiento cooperativo. Siguiendo un enfoque etnográfico, especialmente en América Latina, se ha incluido bajo este paraguas a otras formas ancestrales de organización cooperativa del trabajo, como la minga, el cambiamanos y el famoso *randi-randi*, que pese a denotar intermediación (*randiy* en kichwa significa compra) suele ser promocionado como sinónimo de reciprocidad.

No obstante, el enfoque antropológico es más general, relacionando la reciprocidad con la formación de estructuras de soporte de toda la sociedad; mientras que la economía popular y solidaria plantea que las relaciones de reciprocidad son la base de la empresa cooperativa, definida por su propiedad colectiva, el apoyo mutuo y la gestión democrática de sus miembros (Alianza Cooperativa Internacional 1995; Caillé 2009; Carranza 2013). Este es el fundamento

de su propuesta de “otra economía”, en contraposición con la empresa convencional o capitalista manejada por agentes competitivos e individualistas.

Este trabajo busca establecer una conexión entre el *homo reciprocans* del cooperativismo, ideológico y etnográfico, y el de la economía del comportamiento con su trasfondo biológico. Para probar la hipótesis de la reciprocidad como catalizadora del cooperativismo se propone un modelo teórico y se analizan los resultados de simulaciones con distintos niveles de competitividad, estructuras internas y composición estratégica. Adicionalmente, considerando que las empresas son agentes colectivos, se prueba también el efecto de la selección grupal. En los primeros capítulos se profundiza sobre el estudio de la cooperación y la reciprocidad desde la economía y la biología, con énfasis en los conceptos y herramientas usadas en el desarrollo del modelo, el cual se detalla en el capítulo 3. En la sección final se presentan los resultados del análisis, con su respectiva discusión.

## Capítulo 1. De *homo oeconomicus* a *homo reciprocans*

### 1.1. ¿Homo homini lupus?

Pese al contexto peyorativo-cómico en el cual se acuñó esta expresión,<sup>1</sup> bien puede usarse para describir el pensamiento de la economía convencional. El supuesto básico de la teoría de elección racional es que los agentes económicos somos, por naturaleza, individualistas y maximizadores de utilidad. Es decir, competitivos y calculadores como el lobo feroz del folclore europeo. Claro que, desde los oligarcas romanos hasta los oligopolios globales, esta visión fue ganando terreno hasta alcanzar su apogeo con la revolución industrial y la consolidación del capitalismo. Hoy realmente parece que vivimos el sueño del *homo oeconomicus*, un mundo competitivo donde la única estrategia racional para sobrevivir sería “comer y no ser comido”.

Sin embargo, por extraño que parezca, esta imagen implacable es promocionada como necesaria y deseable para el funcionamiento de la sociedad. El mismo Adam Smith concibió una justificación cooperativa para el comportamiento competitivo, al decir que la búsqueda del beneficio particular genera bienestar social como si estuviera guiado por la famosa “mano invisible”. Junto con los fisiócratas franceses y su *laissez-faire*, los clásicos británicos dieron forma a la naciente disciplina económica proclamando que la armonía emerge espontáneamente de este ruido competitivo, gracias a la coordinación del mercado.

Decir que la reciprocidad es el mecanismo implícito detrás de esta idea (Weiner 1992) es ir demasiado lejos; pero se puede argumentar que alude a las dinámicas del mundo natural, donde el balance emerge de una red de interacciones “predatorias” sin ninguna regulación centralizada. Es una intuición razonable que parece legitimar el comportamiento competitivo y su orden natural. Si bien la competencia por recursos limitados es un supuesto fundamental de la evolución, la ecología y otras teorías de las ciencias naturales, estas incluyen otros aspectos que recogen la complejidad de sistemas no lineales, incluyendo la cooperación. Por lo tanto, las comparaciones superficiales y las sobresimplificaciones pueden llevar a falacias con consecuencias indeseables, como el llamado darwinismo social (Sloan Wilson 2007).

---

<sup>1</sup> Su primera aparición fue en la comedia “Asinaria”, escrita por Plauto en el siglo III a.C. Mucho más tarde, esta imagen fue popularizada por el filósofo Thomas Hobbes.

En la segunda mitad del siglo XIX, ocurrió la revolución marginalista que permitió el desarrollo del análisis cuantitativo de oferta y demanda sustentado en el supuesto de racionalidad. Esto derivó en modelos de equilibrio general, teoremas del bienestar y el conocido óptimo de Pareto. Posteriormente, el desarrollo de la programación lineal permitió cristalizar la maximización de utilidad en un método hecho a la medida, que finalmente culminó en la teoría de elección racional. El uso de demostraciones matemáticas y métodos deductivos ofrecieron un respaldo robusto para defender la idea de la competencia como fundamento de la eficiencia y la armonía social.

La sofisticación matemática de este marco teórico revistió de un prestigio "científico" a esta tradición económica, que terminó por posicionarse como escuela dominante bajo el título reivindicador de neoclásica. Desde entonces el *homo oeconomicus* ha prevalecido con sus preferencias completas y transitivas, sus funciones de utilidad continuas y bien comportadas y la agregación lineal para explicar propiedades emergentes de sistemas no lineales.

Sin embargo, se produjo también una ruptura con la realidad, ya que el uso de supuestos convincentes para el desarrollo de modelos matemáticos parecía suficiente para satisfacer sus necesidades. Al descuidar la comprobación empírica que exige el método científico, la corriente económica principal simplemente omitió la existencia de la reciprocidad y la cooperación<sup>2</sup>. Pero incluso en la Europa de Smith habían antecedentes de organización económica tradicional que dieron origen al movimiento cooperativo, justamente en respuesta al entorno competitivo creado por la nueva sociedad capitalista.

## **1.2. Desafiando al sistema: cooperativismo y socialismo**

Los economistas clásicos estaban viviendo el inicio de la revolución industrial, que transformó por completo las relaciones socioeconómicas y la forma de vida de la gente. Sin embargo, los beneficios de la industrialización y las nuevas tecnologías que llenaban de optimismo a sus promotores no eran para todos. En contra del imaginario desarrollista que concibe la industrialización como sinónimo de bienestar, se trata de un proceso más complejo que incluye conquistas sociales alcanzadas mediante la movilización (entre otros factores). Lo

---

<sup>2</sup> Desarrollos posteriores incorporan la posibilidad de un "altruismo racional", cuando la función de utilidad de un individuo incluye la utilidad de otro:  $U_i(x_1, x_2, \dots, x_n, U_j)$ . Ver, por ejemplo, el *Tratado sobre la familia* de Gary Becker (1981).

cierto es que, al menos al inicio, las condiciones de vida para la mayor parte de la población empeoraron considerablemente en lugar de mejorar.

En las grandes urbes los obreros vivían en condiciones de hacinamiento; no era raro que 15 o 20 personas compartan una habitación y más de cien compartan un baño (Chang 2014). Estas condiciones, junto con los accidentes y enfermedades laborales, trajeron consecuencias nefastas para la salud. En consecuencia, la expectativa de vida en los barrios pobres disminuyó hasta en un 25% con respecto a la media de 24 años de edad alcanzada al inicio del milenio (Chang 2014). Esto sin contar con las penurias impuestas a las colonias o excolonias americanas, africanas y asiáticas, el uso de la fuerza para imponer el libre mercado en el lejano oriente, ni las atrocidades de la esclavitud, que subsidiaron buena parte de la revolución industrial.

Frente al desengaño de la promesa capitalista de libertad, progreso e igualdad, surgieron nuevas propuestas económicas y políticas para organizar la sociedad. Así nació el movimiento cooperativo, junto con varias formas de socialismo. A medida que el paquete industrial-capitalista se diseminaba por Europa, los obreros se asociaban para enfrentar su precaria situación. No es coincidencia que las primeras cooperativas fueran de consumo, donde los socios aportaban sus escasos recursos (tiempo y dinero) para acceder a productos de primera necesidad. Pronto empezaron a surgir otras formas de cooperación económica: cajas de ahorro, emprendimientos manufactureros y granjas colectivas.

Algunos capitalistas llegaron a simpatizar con el incipiente movimiento cooperativo y promovieron la construcción de una sociedad distinta. Empezaron por implementar cambios revolucionarios en sus propias fábricas, como reducir la jornada de trabajo a 65 o 60 horas semanales (lo normal era de 70 a 80 horas), dejar de contratar niños menores de 12 años y ofrecer algún apoyo en caso de accidentes (Chang 2014). Hay que recordar que en aquel entonces el libre comercio de la fuerza de trabajo apenas estaba reemplazando al libre comercio de trabajadores (esclavitud), de manera que resultaba escandaloso interponerse en un naciente mercado laboral percibido como ético y vanguardista.

Uno de los más conocidos de estos primeros promotores fue Robert Owen, quien además de mejorar las condiciones laborales en sus manufacturas, invirtió recursos en la construcción de comunidades basadas en principios cooperativos. En estas aldeas, cada familia tenía su propio espacio (lo cual era un lujo para la época), pero compartían áreas y tareas comunitarias, incluyendo el cuidado de los niños, mantenimiento y participación en actividades de

aprendizaje colectivo (como alfabetización y discusiones filosóficas-políticas). Lógicamente la vida de la comunidad giraba alrededor de una fábrica que generaba los recursos para su manutención. Owen fundó algunas de estas comunidades e inspiró la creación de otras tantas en EEUU, Gran Bretaña y Europa continental.

En 1829 creó la Asociación Británica para la Promoción de la Ciencia Cooperativa y en 1832 la Bolsa Nacional de Cambio Equitativo del Trabajo, donde las cooperativas podían comercializar sus productos usando bonos de trabajo en sustitución del dinero. También promovió un sindicato nacional que agrupaba a varias organizaciones de base, con el fin de promover políticas favorables para los trabajadores. A pesar de que ninguna de estas iniciativas perduró, sus ideas se mantuvieron en el socialismo británico y, parcialmente, en el movimiento cooperativo.

Sin embargo, mientras las propuestas de estos primeros socialistas, llamados utópicos, se disolvían en una versión reformista; Marx estaba ya sentando las bases ideológicas del comunismo. A pesar de su origen cercano y de compartir la idea de la propiedad colectiva de los medios de producción, su relación con el cooperativismo fue ambigua desde el principio. La mayoría de teóricos marxistas de los tiempos subsecuentes ignoraron ampliamente al movimiento cooperativo o lo acusaron de “capitalismo colectivo”. Sin embargo, el mismo Marx reconoció en varias ocasiones su importancia para dismantelar el poder capitalista y hacer una transición hacia una economía gestionada por el proletariado. Incluso participó en encuentros del movimiento, pero siempre alentándolos a ir más allá y articularse para formar una base sólida para un cambio de escala nacional e internacional (Ji 2019; Jossa 2005).

No obstante, el movimiento cooperativo continuó creciendo y expandiéndose sin padrinos teóricos ni financieros. Se desligó del comunismo, del socialismo, del sindicalismo y se dedicó a consolidarse como un “tercer sector” de la economía, entre lo público y lo privado, de forma pragmática y discreta. Un aspecto fundamental de este fenómeno fue que, desde el inicio, procuró la unión e intercambio de experiencias (es decir, la reciprocidad y la cooperación entre grupos). En varios países europeos se establecieron organizaciones de segundo y tercer grado que aglutinaban a cientos o miles de cooperativas de todo tipo. El proceso culminó con la fundación de la Alianza Cooperativa Internacional en 1895, una federación que busca reunir, representar y apoyar a las cooperativas del mundo. Para mediados del siglo XX, el movimiento se había extendido por toda América, parte de Asia y, más tarde, por África. Lógicamente, en cada región se han incluido tradiciones locales de

cooperación económica. En la asamblea conmemorativa de 1995 se aprobó la versión actual de los principios que recogen el espíritu del movimiento<sup>3</sup>:

1. Afiliación abierta y voluntaria
2. Control democrático de los miembros
3. Participación económica de los socios
4. Autonomía e independencia
5. Educación, formación e información
6. Cooperación entre cooperativas
7. Preocupación por la comunidad

También se adoptó una definición actualizada de cooperativa: “una asociación autónoma de personas que se han unido voluntariamente para hacer frente a sus necesidades y aspiraciones económicas, sociales y culturales comunes por medio de una empresa de propiedad conjunta y democráticamente controlada”.

Actualmente se estima que más de 1000 millones de personas pertenecen a alguna cooperativa (Worldwatch Institute 2012) y que las 300 cooperativas mayores mueven más de dos billones ( $2 \times 10^{12}$ ) de dólares al año (International Cooperative Alliance y Euricse 2019). A pesar que se trata principalmente de pequeñas y medianas empresas, también existen verdaderos monstruos transnacionales, como la corporación Mondragón que aglutina a 264 empresas cooperativas (incluyendo supermercados, manufacturas, desarrollo de tecnología y hasta una universidad), mueve más de 12.000 millones de dólares al año y ofrece empleo a más de 80.000 personas.<sup>4</sup>

Hacia la década de los años ochenta el movimiento cooperativo volvió a llamar la atención de la academia, principalmente de autores europeos y latinoamericanos. En Europa fue incluida en la teorización de un tercer sector económico, caracterizado por su cualidad solidaria, junto con organismos no gubernamentales (incluyendo grupos religiosos de caridad) y agencias gubernamentales de cooperación internacional. Por otro lado, en Latinoamérica se destacó su carácter colectivo y popular como una característica distinta de lo público y lo privado, diferenciándolo de ONGs y cooperación internacional.

---

<sup>3</sup> <https://www.aciamericas.coop/Principios-y-Valores-Cooperativos-4456>

<sup>4</sup> <https://www.mondragon-corporation.com/>.

Ambas corrientes mantienen un enfoque mayoritariamente pragmático e ideológico; pero en Latinoamérica adquiere mayor relevancia la inclusión de grupos vulnerables y la valoración de formas ancestrales locales de cooperación. Así nace una nueva escuela de pensamiento para respaldar al movimiento cooperativo: la economía popular y solidaria. En su planteamiento alternativo evitó partir de los fundamentos de la corriente ortodoxa, de sus rivales heterodoxas, del socialismo ni el marxismo. Sus promotores, en cambio, escogieron un enfoque más amplio desarrollado por la antropología económica: el sustantivismo de Polanyi.

### **1.3. Fuera de la burbuja**

A lo largo de la primera mitad del siglo XX la antropología se estaba consolidando como disciplina de estudio de la diversidad humana. Uno de sus principales hitos fue ir más allá de lo descriptivo, hacia la formulación de teorías y conceptos relacionados con las diferentes formas de organización económica y social. A través del estudio etnográfico, principalmente fuera del contexto cultural occidental moderno, se identificaron patrones de comportamiento y normas sociales que darían origen a lo que hoy se conoce como antropología económica. Esto incluyó, por supuesto, el descubrimiento de estructuras cooperativas, el concepto de reciprocidad y la propuesta sustantivista de Karl Polanyi.

El polaco Bronislaw Malinowsky fue el primero en establecer una teoría sobre el intercambio de regalos basada en la reciprocidad, gracias a su estudio del “circuito kula” de los pobladores de las islas Trobriand. Consiste en una tradición de excursiones periódicas entre jefes tribales de varias islas con el fin de intercambiar dos tipos de bienes suntuarios: discos de concha roja para collares y brazaletes de concha blanca. Malinowsky observó que este intercambio se diferencia del trueque (que ocurre simultáneamente) por su carácter social y ritual, generando señales de estatus y alianzas políticas entre los participantes. Aunque no se trataba de una relación comercial, Malinowsky enfatizó que tampoco era un intercambio de regalos puramente altruista, ya que el donante siempre tenía la expectativa de ser retribuido a futuro (Malinowsky 2002).

Posteriormente, Marcel Mauss (1924) extendió el trabajo de Malinowsky, complementándolo con observaciones de sistemas similares, especialmente en Norteamérica, Indonesia y Nueva Guinea. En su “Ensayo sobre el don”, establece que la entrega de regalos suele estar cargada de implicaciones políticas y sociales que promueven la cohesión social al generar un sentido

de deuda u obligación. Es decir que la persona que ha recibido un favor o regalo de otra siente que debe devolverlo y, de hecho, la mayoría de las veces lo hace.

Posteriormente Sahlins (2017) definió tres tipos de reciprocidad: generalizada, balanceada y negativa. La primera corresponde a la noción general de entrega de favores o donaciones sin compromisos específicos de devolución, pero con la expectativa de conseguir una retribución similar. La reciprocidad balanceada se refiere al intercambio inmediato de regalos o mercancías, incluyendo por lo tanto formas de trueque y remuneración del trabajo en especie. Además implica un ajuste más preciso en el valor del intercambio. La reciprocidad negativa se refiere más bien a interacciones competitivas, ya que es descrita como el intento de obtener beneficios entregando poco o nada a cambio. Incluye negociaciones frías, regateo, trampa y robo.

David Graeber (2001) observa la similitud de la reciprocidad balanceada y la negativa con el intercambio comercial por ser más competitiva y distante. Por tal razón, propone reemplazar las tres categorías de Sahlins simplemente por reciprocidad abierta y cerrada, con una gradación entre total indefinición y acuerdos explícitos de devolución. En general, actualmente la reciprocidad se entiende como el intercambio no monetario de favores o bienes, ya sea inmediato (trueque) o desfasado, basado en la expectativa de recibir a cambio algo de valor similar.

Estos autores coinciden en que los distintos niveles de reciprocidad, desde abierta o general hasta negativa (que usualmente ya no se considera reciprocidad), están determinados por la distancia social entre los participantes. Típicamente, al interior del grupo familiar o entre familias cercanas (clan, vecindario, comunidad) la reciprocidad general suele ser muy común y favorece la cohesión del grupo a través de la cooperación. Entre grupos menos cercanos, pero similares, suele haber normas sociales de reciprocidad balanceada, muchas veces ritualizadas, que favorecen relaciones más puntuales (como matrimonios, amistades o alianzas políticas y económicas). Finalmente, entre grupos o agentes considerados externos se establecen relaciones comerciales de intercambio, mediadas por dinero o en especie, cuyas premisas son competitivas; es decir que cada una de las partes busca obtener el mayor beneficio posible.

Pronto aparecieron discrepancias sobre el enfoque apropiado para estudiar las economías de sociedades culturalmente diversas. Es aquí donde aparece Karl Polanyi con su crítica al capitalismo desde una perspectiva antropológica. Propone una distinción entre economía

formal, refiriéndose a la teoría neoclásica, y economía sustantiva, entendida como una visión más amplia sobre la manera cómo una sociedad satisface sus necesidades materiales. Autores como Robins, Firth y Schneider, defendieron sin mucho éxito la visión formalista, argumentando la universalidad del *homo oeconomicus* y adaptando la teoría de elección racional a contextos culturales diversos para estudiar sus relaciones económicas (Prattis 1982; Zenz 2006).

Polanyi desarrolló su enfoque sustantivista para estudiar la sociedad occidental moderna. El título de su obra más importante, “La gran transformación” (Polanyi 2001) hace referencia al drástico cambio ocurrido en las culturas europeas durante la revolución industrial, que generó una mercantilización de las relaciones sociales y económicas. En especial resalta que la mano de obra, la tierra (naturaleza) y el dinero son concebidos y tratados como si fueran objetos producidos para el mercado, cuando no lo son; por lo que les asigna el término de “mercancías ficticias”. En contraposición con la teoría neoclásica, Polanyi argumenta que lejos de ser una forma natural de organización de la sociedad, la economía de mercado tiende a destruir las bases ecológicas (sin usar este término, claro), sociales y financieras que la sustentan. Postula que esto se debe a la dominación de la esfera económica sobre las esferas política y social, que conforman la base institucional de la sociedad.

Para su análisis, retoma el concepto de reciprocidad (entendido como reciprocidad general o balanceada no inmediata) y lo complementa con la redistribución y el intercambio (reciprocidad balanceada inmediata o reciprocidad negativa). La redistribución se refiere al acopio de bienes por parte de un agente centralizado, que puede ser un jefe tribal, una organización comunitaria, una empresa o un estado, para luego ser repartidos de acuerdo a ciertas normas preestablecidas. El intercambio incluye cualquier forma de comercio, mediada por dinero o en especie (trueque), incluyendo el mercado laboral (Polanyi 2001, 1976).

Estos tres mecanismos explicarían la circulación económica en cualquier sociedad, incluyendo los países industrializados. De esta manera realiza un análisis histórico sobre el desarrollo de la economía y su nivel de inserción en cada trasfondo insitucional, desde las antiguas civilizaciones de medio oriente (que en realidad son la base cultural de lo que usualmene se llama occidente) hasta la Europa del siglo XX.

Así, mientras el intercambio domina la mayor parte de las relaciones económicas actuales (debido a la gran transformación), existe también una importante cantidad de recursos redistribuidos a través del estado y organizaciones de caridad (es decir, de acuerdo a normas

sociales formales e informales) y otra porción de recursos (principalmente trabajo) circula todavía a través de mecanismos de reciprocidad al interior de las familias (cuidado de menores y ancianos, trabajo doméstico), entre familias cercanas (favores, préstamos informales) (Polanyi 2001, 1976; Servet 2007; Fraser 2017) y en emprendimientos cooperativos.

Aunque este último sector no es mencionado explícitamente por Polanyi, la reciprocidad es la conexión que rescataron posteriormente los promotores de la economía popular y solidaria (Caillé y Dzimira 2009; Laville 2009a); especialmente los autores latinoamericanos, a pesar de que tampoco considera las dinámicas colonialistas europeas (Coraggio 2014). Al hacerlo, heredaron en gran medida el enfoque sustantivista para estudiar y respaldar el fenómeno del cooperativismo. Al mismo tiempo, dejaron de lado la formalización teórica que había resultado tan útil para la corriente principal y otras escuelas.

#### **1.4. Juegos mentales**

Mientras Polanyi desarrollaba su enfoque sustantivista, en la década de 1940, John von Neumann y Oskar Morgenstern estaban formalizando el estudio del comportamiento estratégico que daría origen a la teoría de juegos. En general, un juego se entiende como una abstracción de cualquier situación en la cual los participantes deben tomar decisiones de acuerdo a un conjunto de reglas. Cada jugador puede escoger entre varias alternativas de acción (jugadas o estrategias), de manera que cada combinación genera un resultado distinto. Estos expresan con valores numéricos el efecto de las decisiones de los participantes, que se interpreta como utilidad (o desutilidad). Se asume que cada jugador es un agente racional que busca maximizar su utilidad y está consciente de que sus oponentes harán lo mismo. Así, las decisiones se toman de acuerdo a los posibles resultados, considerando lo que el otro va a hacer.

En su definición formal, un juego  $\Gamma$  con  $n$  jugadores es una lista  $\Gamma = (S_1, S_2, \dots, S_n; u_1, u_2, \dots, u_n)$ , donde para cada  $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $S_i$  es el conjunto de todas las estrategias disponibles para el jugador  $i$  y  $u_i: \prod_{i=1}^n S_i \rightarrow \mathbb{R}$  es la función de utilidad del jugador  $i$  (conocida como función de utilidad von Neumann-Morgenstern). Cada jugador trata de maximizar el valor esperado de su función de utilidad, de acuerdo a la dinámica del juego y a sus proyecciones.

Existen dos formas de representar juegos, la normal o compacta y la secuencial o extendida. La representación secuencial muestra los pasos de decisión, o turnos del juego, como un árbol donde los nodos representan momentos de decisión y las conexiones muestran las alternativas a escoger. Al final del juego, en los extremos del árbol, se observan los posibles resultados. La forma normal recoge las jugadas o estrategias en las filas y columnas de una “matriz de pagos” y los posibles resultados en sus celdas. Así, un juego de dos jugadores y dos estrategias, a y b, se representaría como una matriz  $2 \times 2$  donde las filas representan las estrategias del jugador 1 y las columnas las estrategias del jugador 2. En cada celda el valor de la izquierda representa el resultado (o pago) para el jugador 1 y el de la derecha el resultado para el jugador 2:

		Jugador 2	
		a	b
Jugador 1	a	1,2	2,3
	b	-1,3	0,-2

Cuando la matriz de pagos es simétrica, se puede colocar un único pago en cada celda que se interpreta como el resultado para el jugador de las filas (que sería el mismo para ambos):

		a	b		a	b
	A	1,1	2,3	→	a	1 2
	B	3,2	0,0		b	3 0

Inicialmente, von Neumann y Morgenstern se concentraron en juegos competitivos, donde cada jugador es un individuo que busca obtener el mayor beneficio posible. Sin embargo, pronto desarrollaron una versión cooperativa donde intervienen coaliciones de individuos que deben cooperar internamente para competir con los grupos rivales. Posteriormente Shapley profundizó en este tipo de juegos. Usualmente se asume que alguna fuerza externa motiva la formación de coaliciones, como la existencia de contratos. Los análisis se concentran en predecir la formación de coaliciones y los resultados de sus decisiones.

No obstante, los juegos no cooperativos han experimentado un desarrollo mayor, con una amplia variedad métodos de análisis y modalidades de juegos, que incluyen la emergencia de la cooperación a partir de mecanismos endógenos. Uno de los casos más usados es el juego del dilema del prisionero que justamente captura la disyuntiva entre cooperar y competir. Su matriz general de pagos está dada por:

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} C & K \end{array} \\ \begin{array}{c} C \\ K \end{array} & \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \end{array}$$

donde C es cooperar, K es competir y  $c > a > b > d$ .

Desde una perspectiva “racional” e inmediata, la mejor respuesta siempre es competir. Pero si los encuentros se repiten, la cooperación encuentra una oportunidad inesperada porque los jugadores tienen la posibilidad de ser recíprocos y devolver el favor o la “deserción” (usualmente se abrevia con D por *defection*, en inglés). Para juegos reiterativos se usa la versión del “donante”, donde  $b = \text{beneficio}$ ,  $c = \text{costo}$  y  $b, c > 0$ :

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} C & K \end{array} \\ \begin{array}{c} C \\ K \end{array} & \begin{pmatrix} b - c & -c \\ b & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

Entonces competir es una estrategia conveniente al inicio porque retorna un beneficio sin costo. Pero cuando el perjudicado se cansa, decide competir también porque  $0 > -c$ ; de manera que la cooperación mutua resulta más conveniente a largo plazo.

Usualmente estos juegos reiterativos se analizan con modelos que consideran los cambios en la proporción de jugadores en el tiempo, de acuerdo al éxito de sus acciones. Estos son los juegos evolutivos que se desarrollaron en biología a partir del esquema original usado en economía (ver capítulo 2). Este enfoque genera dinámicas complejas basadas en agentes, sin necesidad del supuesto de racionalidad. Por esta razón atrajo el interés de una disciplina

alternativa que venía desarrollándose desde la década de los sesentas: la economía del comportamiento.

A diferencia de la corriente principal y las demás propuestas heterodoxas, la economía del comportamiento se fundamenta en métodos experimentales. Surgió a partir de avances realizados en psicología y neurobiología para la generación de modelos de estudio del comportamiento humano. Autores como Tversky, Kahneman y Thaler empezaron a aplicarlos para explicar la toma de decisiones en economía. Rápidamente se fueron acumulando evidencias en contra del supuesto de racionalidad y a favor de sesgos cognitivos e influencias sociales o emocionales que afectan considerablemente la toma de decisiones.

La teoría de juegos ha sido un excelente complemento para estudios empíricos en ambientes controlados, semicontrolados o de campo. A diferencia de los modelos prescriptivos usados en economía convencional, estos modelos se aplican con un enfoque descriptivo que busca identificar mecanismos explicativos del comportamiento de los agentes. Es así que innumerables estudios han confirmado la importancia de la reciprocidad en las relaciones humanas, coincidiendo con la tradición antropológica. Incluso se han identificado correlaciones entre la propensión a la cooperación y factores como distancia social, edad y sexo (Dohmen et al. 2009, 2006). Además, se ha observado que estos patrones de reciprocidad positiva son distintos a los de la reciprocidad negativa, entendida como retaliación; es decir, devolver el mal en vez del bien (Fehr y Gächter 2000).

Curiosamente, a pesar de las convergencias con respecto a los conceptos y la relación reciprocidad-cooperación, la economía popular y solidaria no ha aprovechado el desarrollo de estas herramientas. Probablemente esto se debe a su postura más pragmática y militante, enfocada en apoyar el desarrollo del movimiento cooperativo. O tal vez solo es cuestión de tiempo. Aunque Coraggio (2014), uno de sus principales promotores, demuestra estar al tanto del terreno ganado por la economía conductual cuando advierte que “no hay modelo más allá de la necesidad de no absolutizar ningún modelo... ni [el] *homo reciprocans*”. De todas maneras, dado que se trata de un fenómeno tan difundido e identificado desde caminos tan diversos, valdría la pena considerar una alianza cooperativa interdisciplinaria.

## **Capítulo 2 De *homo darwinianus* a *homo reciprocans*... pasando por *Homo sapiens***

La cooperación está presente en todos los niveles de la vida: los genes cooperan en los genomas, las células en los tejidos, los individuos en sociedades, las especies en comunidades e, incluso, se ha propuesto que los ecosistemas cooperan para mantener viva a la Tierra o que la misma vida surgió gracias a la cooperación entre moléculas orgánicas. El tratamiento de este fenómeno ha sido muy variado, con una clara tendencia hacia la integralidad teórica y metodológica entre las distintas disciplinas de las ciencias biológicas.

En ecología, cooperación y competencia conviven en un balance basado justamente en su antagonismo, aunque se distingue entre sus definiciones “clásicas” y lo que habitualmente se entiende en otros contextos. Así, en vez de perjuicio o extracción directa, la competencia suele entenderse como el efecto negativo y mutuo mediado por la obtención del mismo recurso. Para evitar confusiones y unificar criterios, usualmente se distingue entre cooperación o competencia directa e indirecta. Sus aportes han sido de gran utilidad en bioquímica, fisiología, microbiología, evolución y, también, economía (Gandolfo 2008; Goodwin 1987).

Varios modelos evolutivos y espaciales se han usado para estudiar los mecanismos de cooperación entre células y cómo aquellas que logran evadir estos “acuerdos” terminan convirtiéndose en cáncer (Swierniak y Krzeslak 2013; Staňková et al. 2019). La aplicación de un enfoque ecológico en el estudio del tracto digestivo ha destapado todo un mundo de interacciones entre poblaciones de microorganismos que cooperan y compiten entre sí, afectando profundamente la salud física y emocional de su hospedero (Forsythe et al. 2010; Nikolova et al. 2019; Simpson et al. 2020).

En el estudio del comportamiento, el uso de teoría de juegos permitió explicar satisfactoriamente los enfrentamientos rituales en animales no humanos con el famoso juego “halcón-paloma”. Gracias a la integración entre bioquímica, genómica y proteómica se han descubierto mecanismos insólitos de parásitos que afectan el comportamiento de sus hospederos, obligándolos a cooperar con su especie. Esto incluye ratones suicidas que se lanzan a las garras de un gato (toxoplasmosis) u orugas que cuidan las crías de sus enemigos (avispa hemiparásita).

Más aún, hoy sabemos que los mamíferos debemos agradecer la infección de retrovirus que se volvieron cooperativos y contribuyeron a la evolución de la placenta y el proceso de implantación de los embriones, sin los cuales simplemente no podríamos reproducirnos

(Chuong 2013; Dunlap et al. 2006; Harris 1998). Como si esto no fuera ya demasiado íntimo, también podemos afirmar que somos capaces de respirar gracias al pacto cooperativo firmado hace miles de millones de años entre los primeros eucariotas y cierto grupo de bacterias, cuyos descendientes habitan en cada célula de nuestro cuerpo bajo el nombre de mitocondrias (Gray 2010). Esta teoría, conocida como endosimbiosis, combina principios ecológicos y evolutivos y cuenta con el respaldo de sólidas evidencias genéticas acumuladas pacientemente por décadas (aunque demasiado lento para que su proponente, Lynn Margulis, disfrutara este reconocimiento).

La teoría más aceptada sobre el origen de la vida, la quimiosíntesis, la explica justamente como un fenómeno emergente causado por la cooperación entre entidades que normalmente no se consideran vivas: las moléculas orgánicas. Y hacia el extremo macro está la hipótesis Gaia, que concibe a la Tierra como un superorganismo vivo, resultante de las interacciones cooperativas y regulatorias entre ecosistemas. Por supuesto, ninguna de las dos puede ser aceptada sin un acuerdo previo sobre la definición de vida, lo cual a primera vista parece imposible por su connotación filosófica o metafísica. Sin embargo, incluso para este misterio fundamental se han alcanzado avances considerables en establecer sustentos teóricos formales desde la teoría del caos, inferencia bayesiana (Harper 2009; Campbell 2016), teoría de la información (Harte y Newman 2014) y sistemas complejos (Gershenson 2014; Fernández, Maldonado, y Gershenson 2014).

## **2.1. Homo darwinianus**

La historia que más interesa para este trabajo es la ocurrida en el campo de la evolución, teoría transversal e indispensable para entender el mundo natural. Esto se debe a que la competencia por recursos limitados es uno de sus principales supuestos. Es justamente la fuerza que promueve la selección de caracteres beneficiosos, al mejorar la aptitud o éxito reproductivo (*fitness*) de sus portadores. En consecuencia, la cooperación enfrenta una fuerte oposición selectiva, ya que los individuos con comportamiento altruista estarían perjudicando su propia aptitud en favor de los demás.

El mismo Darwin estaba consciente del problema que representaba la cooperación para su teoría. En *El origen de las especies* (Darwin [1859] 1997), donde presentó al mundo una explicación profunda y completa de la misma, se tomó la molestia de tratar esta paradoja. En el capítulo *Instinto* habla sobre los insectos eusociales que sacrifican su propio éxito

reproductivo en favor de la reina de la colonia. Según Darwin, el problema “disminuye” o “desaparece” si se considera que la selección natural puede actuar, además del individuo, a nivel de la colonia como un todo. De manera que la cooperación entre sus miembros asegura la aptitud del linaje, en lugar de beneficiar únicamente a la reina.

Esta es una idea precursora de lo que luego se llamaría aptitud inclusiva o selección por parentesco (*kin selection*). Es decir que a veces una buena forma de mejorar la aptitud propia es promover el éxito reproductivo de un pariente cercano. También introduce la noción de selección grupal y selección multinivel, al mencionar el efecto simultáneo de la selección sobre el individuo y sobre el grupo. En *El origen del hombre*, Darwin ([1871] 2006) complementa esta idea explicando que una tribu cooperativa tendría ventaja sobre aquellas donde prevalece la competencia. De esta manera, aunque al interior de cada tribu los altruistas están en desventaja, la competencia entre grupos favorecería la cooperación interna.

En lo posterior, el asunto de la cooperación fue ignorado por mucho tiempo. El poder explicativo de la teoría de la evolución fue corroborado por abrumadoras evidencias y se convirtió en un vigoroso campo de estudio donde, a diferencia de otras disciplinas, solo cabía la competencia. Seguramente en su desarrollo también influyó la exacerbación del individualismo como fundamento ideológico de los cambios sociales, políticos y económicos de la época (Nowak y Highfield 2011, Sloan Wilson 1998, Sloan Wilson y Sober 1998).

Con el desarrollo de la genética sobrevino la síntesis neodarwiniana, que incorporó el respaldo molecular y matemático que tanta falta le hacían a la teoría de la evolución. Dos de sus artífices, los genetistas Fisher y Haldane, retomaron someramente el problema del altruismo en la década de los 1930 (Haldane 1955, Harman 2010). En tono de broma, Haldane agregó probabilidad a la explicación intuitiva de Darwin sobre selección por parentesco, manifestando que saltaría al río para salvar a dos hermanos u ocho primos (Dugatkin 2007). Es decir que la decisión de pagar el costo de un acto altruista está condicionada por la probabilidad de compartir genes (o la proporción de genes compartidos) con el beneficiario:  $\frac{1}{2}$  si es hermano y  $\frac{1}{8}$  si es primo.

Posteriormente, Hamilton (1964) profundizó esta idea, desarrollando el concepto de aptitud inclusiva; el cual postula que un individuo puede incluir como suya la aptitud de otros, de acuerdo al grado de parentesco. Así, siguiendo con el ejemplo anterior, además de una unidad de aptitud por cada cría propia, puede contabilizar  $\frac{1}{2}$  unidad por cada hermano que salva o

ayuda a criar y  $\frac{1}{8}$  de unidad por cada primo. Este tipo de altruismo se resume en la regla de Hamilton:

$$b/c > r \quad (1)$$

donde  $c$  es el costo pagado por el donante,  $b$  el beneficio entregado al receptor y  $r$  la relación de parentesco entre ambos participantes.

A inicios de los setentas, el físico-químico George Price hizo importantes contribuciones al estudio de la cooperación y la evolución en general, a pesar de no tener entrenamiento previo en el área (Price 1970, 1971, 1972). Partiendo del trabajo de Hamilton, desarrolló su famosa ecuación que describe el efecto autorregresivo entre caracteres ( $z$ ) y aptitud ( $w$ ) en términos de covarianza y esperanza:

$$\bar{w}\Delta z = cov(w, z) + E(w\Delta z) \quad (2)$$

donde  $z$  es el valor numérico del caracter en cuestión y  $w$  la aptitud, medida como tasa reproductiva intergeneracional. Así, el cambio en las frecuencias génicas afecta el éxito reproductivo y viceversa, lo que genera procesos sinérgicos que hacen evolucionar a la población. Otra versión de la ecuación de Price evalúa el efecto de la frecuencia génica  $p$  de un carácter sobre la aptitud de sus portadores (2).

$$\bar{w}\Delta p = cov(w, p) + E(w\Delta p) \quad (3)$$

Ambas ecuaciones tienen el mismo comportamiento. La ecuación (4) es la versión en tiempo continuo usada por Price en 1972, donde  $r = \frac{d}{dt} \log w_i$ .

$$\frac{d}{dt}(ave_w p) = cov_w(r, p) + ave_w(\frac{dp}{dt}) \quad (4)$$

Posteriormente, Price trabajó con John Maynard Smith en el desarrollo de los juegos evolutivos, a partir de la teoría de juegos desarrollada por von Neumann y Morgenstern (Smith y Price 1973, Smith 1974) y un primer intento realizado por Lewontin (1961). Evadiendo el supuesto de “racionalidad”, las estrategias fueron equiparadas con fenotipos y la utilidad con éxito reproductivo. Adicionalmente la utilidad esperada se pondera con la frecuencia poblacional de cada estrategia, lo que genera un efecto densidad-dependiente (Nowak 2006a). Al equilibrio de Nash se agregó el concepto de estrategia evolutivamente estable (EEE), que indica la capacidad de una estrategia para resistir la invasión de otras, introducidas por mutación o inmigración.

Price trabajó en colaboración intermitente con Maynard Smith y Hamilton por un tiempo. Sin embargo, la búsqueda del origen evolutivo del altruismo se convirtió en una obsesión que eventualmente lo llevó a la indigencia y el suicidio en 1975 (Harman 2010).

## 2.2. Modus cooperandi

Tanto los juegos evolutivos como la ecuación de Price promovieron un auge en el desarrollo teórico de la evolución hacia finales de siglo pasado. La línea de Price dio origen a un resurgimiento de la selección grupal (tratada también por él en su artículo de 1972), que podría considerarse una formalización de la competencia entre tribus de Darwin.

Posteriormente fue generalizada en la teoría de selección multinivel (Sloan Wilson y Sober 1998). Su principal promotor, David Sloan Wilson, se ha dedicado a rebatir directamente la supremacía de la competencia como fuerza fundamental de la evolución. Pese a la oposición inicial, actualmente es una teoría ampliamente aceptada. Su postulado básico indica que la selección natural puede promover la cooperación en un nivel inferior (intra-grupo) si la competencia en el nivel superior (entre grupos) es más fuerte. La ecuación de Price permite expresar el efecto simultáneo de la selección entre niveles, por expansión del término de esperanza:

Usando la ecuación (2), se obtiene

$$\bar{w}_g \Delta z_g = cov(w_g, z_g) + E[cov(w_{g-1}, z_{g-1}) + E(w_{g-1} \Delta z_{g-1})] \quad (5)$$

donde  $g$  es el nivel intergrupar y  $g-1$  el nivel intragrupal. Nótese que el nuevo término de esperanza puede ser expandido sucesivamente para  $g-n$  niveles.

Mientras tanto, los juegos evolutivos experimentaban un considerable desarrollo, demostrando su utilidad para modelar el comportamiento de los seres vivos. Uno de los juegos más interesantes es el dilema del prisionero (descrito en la sección 1.4). A fines de la década de los 1970 e inicios de 1980, el matemático y politólogo Robert Axelrod invitó a investigadores de todo el mundo a enviar estrategias para participar en dos torneos cibernéticos del dilema del prisionero reiterativo con una condición de no alternancia  $2(b - c) \leq b - c$ .

La más sencilla, enviada por Anatol Rapoport y conocida como “ojo-por-ojo” (abreviado usualmente como TFT, por sus siglas en inglés: “tit-for-tat”) fue la vencedora en ambas

ocasiones (Axelrod y Hamilton 1981). Consiste en cooperar en el primer encuentro y luego imitar lo que haga el otro jugador. Entonces, si se encuentra con un cooperador, su utilidad es  $b - c$ ; caso contrario pierde  $-c$  y en la partida siguiente se protege de pérdidas secogiendo competir (aunque su utilidad sea cero). Por lo tanto, esta estrategia ganadora es nada menos que un modelo del comportamiento recíproco.

A partir de entonces, el juego repetitivo del dilema del prisionero se convirtió en el modelo ideal para estudios *in silico* y generó una explosión de publicaciones sobre cooperación y reciprocidad. La estrategia ojo-por-ojo continuó siendo la vencedora absoluta por mucho tiempo, recibiendo incluso el respaldo de estudios empíricos en humanos y decenas de otras especies, desde peces hasta vampiros (Fischer 1988, Milinski 1987, Krama et al. 2012, Wedekind y Milinski 1996). Pero se desmoronó ante la introducción de errores de transmisión; cuando, por equivocación, un jugador ojo-por-ojo aparece como competidor. Entonces, ambos jugadores caen en una trampa de retaliación por falsa competencia y reducen su utilidad innecesariamente.

En este contexto engañoso aparece una nueva estrategia ganadora, conocida con el ambiguo nombre de “ojo-por-ojo-generoso” o el más adecuado, pero informal, “ojo-por-ojo-gil” (GTFT, por sus siglas en inglés: “generous-tit-for-tat”), que todavía es capaz de cooperar con cierta probabilidad aún cuando su contraparte ha competido en la ronda previa. Esta cualidad le permite retomar una relación recíproca con el socio que cometió el error (ya sea intencional o de transmisión) y fijarse como EEE. En palabras de Nowak (2006a; Nowak y Highfield 2011), estamos frente a “la evolución del perdón”.

La mejor forma de entender y modelar estas dinámicas es usando las llamadas estrategias reactivas, que se expresan como puntos en un simplex bidimensional que recoge la probabilidad condicional de cooperar o competir, dado lo que hizo el oponente en la ronda anterior:  $S(p, q)$ ; siendo  $p$  la probabilidad de cooperar dado que el oponente cooperó,  $q$  la probabilidad de cooperar dado que el oponente compitió y  $p, q \in [0,1]$ .

En este espacio de decisión, las estrategias determinísticas se definen como aquellas que especifican una regla binaria para  $p$  y  $q$ . Así, una estrategia de cooperación incondicional (ALLC, por sus siglas en inglés “always cooperate”) sería ALLC(1,1), un competidor estricto (ALLD, por sus siglas en inglés “always defect”) sería ALLD(0,0) y un ojo-por-ojo, TFT(1,0). Por su parte, las estrategias estocásticas como GTFT especifican cualquier valor entre cero y uno para  $p$  y  $q$ . Para los valores usados por Axelrod en la matriz de pagos (7),

( $a = 3, b = 0, c = 5, d = 1$ ), se ha encontrado que el valor óptimo de  $q$  para una estrategia GTFT es de  $1/3$ , de manera que GTFT( $1, 1/3$ ) resulta vencedora sobre TFT( $1, 0$ ). En general, este umbral de “máximo perdón” está definido por  $q = \min \{1 - \frac{c-a}{a-b}, \frac{a-d}{c-d}\}$ . Si el jugador lo excede, es vulnerable a ser invadido por ALLD (Nowak 2006a).

Posteriormente, Nowak y Sigmund (1990, 1989a, 1989b; Nowak 1990) demostraron que si se permiten mutaciones aleatorias para definir las estrategias, la cooperación no siempre se fija como estrategia evolutivamente estable. Puede ocurrir que se genere un balance dinámico con oscilaciones cíclicas. Si se inicia la simulación con valores aleatorios para  $p$  y  $q$ , eventualmente la mayoría de estrategias se extinguen y empieza a dominar la más competitiva (la más cercana a ALLD). Si aparece (o se introduce) un mutante TFT, se vuelve dominante hasta provocar la extinción de ALLD. Sin embargo, no logra fijarse si en el sistema se generan jugadores GTFT. Pero una vez más, su estabilidad es efímera y la población poco a poco se llena de cooperadores incondicionales (ALLC), que pasan desapercibidos porque producen la misma utilidad que TFT (es decir, por deriva génica). Entonces son vulnerables frente a la invasión por competidores incondicionales y el ciclo se repite una y otra vez.

Un destino alternativo ocurre cuando en una población dominada por GTFT aparece un mutante “gana-queda” (WSLS, por sus siglas en inglés: “win-stay, loose-shift”), que simplemente repite la jugada que le da resultado y cambia la que no. De esta manera es resistente incluso a la invasión por parte de GTFT y puede fijarse como estrategia evolutivamente estable.

El estudio de juegos evolutivos llevó a identificar otros mecanismos que permiten la emergencia de la cooperación, todos derivados de la reciprocidad. Es decir, la posibilidad de que las acciones altruistas retornen beneficios con un rezago temporal. A parte de la reciprocidad directa del tipo Axelrod, están la indirecta y la reciprocidad por señales de identidad.

La reciprocidad indirecta consiste en que un individuo realiza una acción altruista sin esperar que sea necesariamente el mismo beneficiario quien le devuelva el favor. En cambio, al ser cooperativo construye una reputación que los beneficiarios difunden en la población, de manera que otros tendrán una actitud cooperativa hacia él porque “todo el mundo sabe” que va a responder de forma positiva. En palabras de David Haig: “para la reciprocidad directa se necesita una cara, para la indirecta basta un nombre” (Yoeli et al. 2013).

La reciprocidad por identidad, también conocida con el curioso nombre de “barba verde” (Dawkins 2006), podría ser considerada como una extensión de este mecanismo; aunque la misma idea fue usada por Hamilton (1964) como una ampliación de su concepto de aptitud inclusiva. Consiste en que, de alguna manera (compartir cromosomas, rutas metabólicas, circuitos culturales, etc.), el comportamiento altruista queda vinculado a un carácter secundario que marca claramente a su portador, como una barba verde. Así se motiva la cooperación con individuos que llevan esta señal de identidad, aunque su reputación personal sea desconocida (o, en el ejemplo de Hamilton, no sean parientes). Esto implica la marginación de los individuos que no llevan la marca de identidad y promueve la formación “jorgas” o “pandillas” (*cliques*, en inglés); es decir, grupos altamente cohesionados y excluyentes.

Los juegos evolutivos usualmente se analizan mediante sistemas de ecuaciones diferenciales que describen las trayectorias de los diferentes tipos de jugadores (estrategias, fenotipos, genes, grupos, etc.); o sea, que describen cómo evolucionan sus poblaciones. Su forma más simple es la ecuación replicadora (8), estudiada y definida explícitamente por Taylor y Jonker (1978). Aunque Maynard Smith la presentó, en forma matricial (9), en el apéndice de su artículo de 1974 (escrito por Haigh) y seguramente ya la usó con Price para desarrollar el concepto de EEE en 1973. La ecuación replicadora tiene la siguiente forma general:

$$\dot{x}_i = x_i(\bar{a}_i - \bar{A})^5 \quad (8)$$

$$\dot{x}_i = x_i((\mathbf{Ax})_i - \mathbf{x}^T(\mathbf{Ax})) \quad (9)$$

donde  $x_i$  es la densidad poblacional de la estrategia  $i$ , expresada como proporción del total de estrategias,  $\bar{a}_i$  la aptitud esperada de la estrategia  $i$  y  $\bar{A}$  la aptitud esperada de todo el conjunto de estrategias. Los valores de aptitud esperada se obtienen a partir de la matriz de pagos  $A$  y las frecuencias poblacionales de las estrategias, siendo  $\bar{a}_i = \sum_{j=1}^n x_j a_{ij}$  (10) y  $\bar{A} = \sum_{i=1}^n x_i \bar{a}_i$  (11):

$$\begin{matrix} & x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} & & & \end{matrix} \quad (12)$$

---

<sup>5</sup> En adelante se usará la notación convencional  $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$

### 2.3. ¿Todos contra todos?

Se debe aclarar que todos los modelos anteriores se construyen sobre el supuesto de poblaciones bien mezcladas (la panmixia neodarwiniana) donde todos los agentes tienen la misma probabilidad de interactuar entre sí. Dado que esto rara vez ocurre en la vida real, se han desarrollado modelos donde la frecuencia de las interacciones es capturada por estructuras de redes o celdas, que se conocen como teoría de grafos evolutivos o juegos espaciales. A diferencia de los juegos evolutivos, que usan variables continuas y, por tanto, asumen poblaciones infinitas, estos se basan en procesos estocásticos sobre poblaciones finitas.

Existen muchas variantes, pero en general estos modelos parten de la formación de un grafo donde los nodos representan individuos y las conexiones son interacciones. Cada interacción se define como un juego reiterativo, de manera que la aptitud del individuo está condicionada a su estrategia y la de sus vecinos. En cada ronda de juego se realiza una “actualización muerte-nacimiento” (proceso de Moran), en la cual se seleccionan al azar individuos que mueren, de manera que su espacio puede ser ocupado por el vecino con mayor éxito reproductivo. En el contexto de interacciones sociales, este proceso también puede ser interpretado como propagación cultural; es decir, que un individuo desecha comportamientos o ideas y adopta las de sus vecinos (Fotouhi et al. 2018; Ohtsuki et al. 2006; Nowak 2006a).

Se han identificado estructuras que promueven la cooperación, como estrellas explosivas, líneas o “embudos”, y otras que la suprimen: jorgas (grafos completos), ciclos, “clubes densos” o grafos bipartitos (Nowak, 2006a, Ohtsuki et al. 2006). Ohtsuki et al. (2006) presentan una generalización para la emergencia de la cooperación en redes, usando grafos cíclicos, mallas regulares, grafos aleatorios regulares e irregulares, y libres de escala. A pesar de su diversidad estructural y la falta de complejidad estratégica, demuestran que la emergencia de la cooperación puede aproximarse bastante bien con una regla sencilla de “viscosidad social”, donde  $k$  es el número promedio de vecinos (grado del grafo):

$$b/c > k \quad (21)$$

Posteriormente Fotouhi et al. (2018) demostraron que incluso las estructuras anti-cooperación pueden generar superestructuras cooperativas si se conectan entre sí. Esta se podría considerar como una versión en teoría de grafos de la selección multinivel.

## 2.4. Síntesis cooperación-competencia

En 2002, Page y Nowak propusieron una unificación teórica de los enfoques de juegos evolutivos y la ecuación de Price, además de las dinámicas adaptativas y las ecuaciones Lotka-Volterra. Establecen la ecuación mutadora-replicadora como la más general:

$$\dot{x}_i = \sum_{j=1}^n x_j \bar{a}_j q_{ji} - x_i \bar{A}. \quad (13)$$

donde cada elemento  $q_{ji}$  representa la probabilidad de mutación de un tipo  $j$  (fenotipo, genotipo, estrategia o tipo de jugador en general) hacia un tipo  $i$ . Dado que en la diagonal principal de esta matriz  $q_{ii} = q_j$ , la probabilidad es siempre uno. Por lo tanto, cuando se asume ausencia de mutación, es decir probabilidad nula en el resto de casos,  $Q$  se convierte en una matriz de identidad. Por ejemplo:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,22 & 0,05 \\ 0,2 & 1 & 0,01 \\ 0,1 & 0,25 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Con mutación

Sin mutación

Este caso particular genera la ecuación replicadora. Usando la versión matricial de (13):

$$\dot{x}_i = x_i((\mathbf{A}\mathbf{Q}\mathbf{x})_i - \mathbf{x}^T(\mathbf{A}\mathbf{x}))$$

$$\dot{x}_i = x_i((\mathbf{A}\mathbf{I}\mathbf{x})_i - \mathbf{x}^T(\mathbf{A}\mathbf{x}))$$

$$\dot{x}_i = x_i((\mathbf{A}\mathbf{x})_i - \mathbf{x}^T(\mathbf{A}\mathbf{x}))$$

Por otro lado, cuando existe mutación pero la densidad poblacional de cada tipo no produce un efecto relevante o simplemente no interesa considerarlo, ocurre lo contrario. Es decir que desaparecen los factores de densidad poblacional ( $x_i, x_j$ ) y se obtiene la ecuación mutadora o de la “cuasiespecie”:

$$\dot{x}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_j q_{ji} - \bar{A}. \quad (14)$$

La equivalencia de la ecuación replicadora con las ecuaciones Lotka-Volterra fue demostrada inicialmente por Hofbauer (1981) y luego por Hofbauer y Sigmund (1998). A pesar de que estos modelos fueron desarrollados para propósitos diferentes (estudio de la evolución y ecología, respectivamente), ambos constituyen sistemas de ecuaciones diferenciales que expresan el cambio en el tiempo de poblaciones de dos o más tipos de agentes, como resultado de la retroalimentación entre sus efectos. En evolución usualmente se analiza el

cambio en la composición poblacional al interior de una especie por efecto de las interacciones entre subpoblaciones de fenotipos; mientras que en ecología se estudian las interacciones entre especies (tipos taxonómicos) y cómo cambia su composición dentro de una comunidad ecológica o ecosistema. Es decir que la principal diferencia es conceptual, en cuanto al nivel de análisis, pero sus dinámicas son equivalentes.

Matemáticamente, las mayores distinciones son la forma de representar la abundancia de la entidad menor (subpoblaciones de fenotipos para la ecuación replicadora y especies para Lotka-Volterra) y la consideración de su dinámica interna, la cual es ignorada por la ecuación replicadora. El modelo Lotka-Volterra usa como variable de abundancia el número absoluto de individuos ( $n$ ), mientras que en juegos evolutivos se usa su proporción relativa al total ( $x$ ). Por esta razón, en la ecuación replicadora se debe restar cada término del promedio global, de manera que  $\sum x_i = 1$  (15), mientras que en el modelo de Lotka-Volterra no es necesario. Dado que la población de la entidad mayor (especie para la ecuación replicadora y comunidad para Lotka-Volterra) es el resultado de la suma de las subpoblaciones de entidades menores,  $\sum n_i = N$ , se puede usar la equivalencia  $x_i = n_i/N$  para pasar de un modelo al otro; o siguiendo a Hofbauer,  $x_i = n_i/(1 + n)$ :

$$\begin{aligned} x_i &= n_i/N \\ n_i &= x_i N \end{aligned} \tag{16}$$

Así, al multiplicar por  $N$  en (8) se obtiene:

$$N\dot{x}_i = Nx_i(\bar{a}_i - \bar{A})$$

Se reemplaza (11), (12) y (16):

$$\dot{n}_i = n_i \sum_{j=1}^n x_j a_{ij} - n_i \sum_{i=1}^n x_i \bar{a}_i.$$

$$\dot{n}_i = n_i \sum_{j=1}^n x_j a_{ij} - n_i \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n \bar{a}_i.$$

Usando (15):

$$\dot{n}_i = n_i \sum_{j=1}^n x_j a_{ij} - n_i \sum_{i=1}^n \bar{a}_i.$$

$$\dot{n}_i = n_i \sum_{j=1}^n n_j a_{ij}. \tag{17}$$

Sin embargo, esta forma equivalente de la ecuación replicadora no incluye la tasa endógena de crecimiento (o decrecimiento) poblacional de cada especie, tan característica de los sistemas Lotka-Volterra. En su versión original, tanto Alfred Lotka, como Vito Volterra

incluyeron este parámetro en sus modelos predador-presa, considerando que en ausencia de predadores, la población de la presa experimentaría un crecimiento exponencial y en ausencia de presas, los predadores sufrirían una declinación exponencial (Lotka 1920, Volterra 1926):

$$\begin{cases} \dot{x} = ax - bxy \\ \dot{y} = -cy + dxy \end{cases} \quad (18)$$

En esta versión,  $x$  es el número de presas,  $y$  el número de predadores y  $a$ ,  $-b$ ,  $-c$ ,  $d$  son los parámetros que representan el impacto recíproco de ambas poblaciones en sus dinámicas. Nótese que  $a$  y  $-c$  representan las tasas endógenas de crecimiento y decrecimiento de cada especie, que se derivan de sencillas ecuaciones de crecimiento exponencial,  $\dot{x} = ax$ ;  $\dot{y} = -dy$ , a las cuales se adicionan los términos de interacción  $-bxy$ ,  $dxy$ .

A lo largo del siglo pasado, la forma (18) recibió adiciones “para toda ocasión”: capacidad de carga que limita el crecimiento (derivada de la función logística), competencia intraespecífica, otro tipo de interacciones (mutualismo, parasitismo, producción primaria) y extensión para  $N$  especies. Usualmente, a medida que se incrementa el número de especies incluidas en el sistema, sus interacciones se contrarrestan y limitan el crecimiento exponencial, de manera que el valor explicativo de un término de capacidad de carga se reduce. Por lo tanto, generalmente se usa la siguiente forma general:

$$\dot{n}_i = n_i(\mathbf{r} + \mathbf{A}\mathbf{n}) \quad (19)$$

donde  $\mathbf{r}$  es el vector de tasas endógenas de crecimiento (o decrecimiento) de cada especie y  $\mathbf{n}$  el vector de sus poblaciones en términos absolutos:

$$\dot{n}_i = n_i \left( \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_n \end{pmatrix} \right)$$

De esta manera, los coeficientes  $a_{ij}$  representan el efecto de la especie  $j$  en la especie  $i$ , siendo positivos si generan crecimiento y negativos si generan decrecimiento. Ya que en la diagonal principal de la matriz  $\mathbf{A}$  la especie  $i$  es igual a la especie  $j$ , esta representa el efecto de encuentros entre individuos de la misma especie (interacciones intraespecíficas). Por lo tanto, se trata de una dinámica equivalente a la representada por la ecuación replicadora con el cambio de variable indicado en (17); solo que cuenta con un término adicional  $\mathbf{r}$ , el cual es análogo a los coeficientes  $a$  y  $-c$  de la versión original (18).

Hofbauer resuelve este problema incluyendo este vector dentro de la matriz de interacciones, siendo  $\mathbf{r} = \{a_{0i}\} = (a_{01}, a_{02}, \dots, a_{0n})$ , y agregando un agente  $n_0$  al vector  $\mathbf{n}$ , que puede ser considerado como un “portador fantasma” del crecimiento endógeno de cada especie y, en consecuencia, es igual a la unidad:

$$\dot{n}_i = n_i \left( \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & \cdots & a_{0n} \\ a_{01} & a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ a_{02} & a_{21} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{0n} & a_{2n} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_0 \\ n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_n \end{pmatrix} \right)$$

Así, la ecuación (19) se puede escribir como la ecuación (17), pero iniciando la sumatoria en cero en lugar de uno:

$$\dot{n}_i = n_i \sum_{j=0}^n n_j a_{ij} \quad (20)$$

Entonces, la matriz de pagos de los juegos evolutivos es equivalente a la matriz de comunidad usada en ecología, siendo ambas representadas como  $\mathbf{A}$ . Es una fascinante demostración de cómo la evolución y la ecología están íntimamente relacionadas en la naturaleza. Lo que Hutchinson (1965) llamara “el teatro ecológico y la obra de la evolución”.

En definitiva, hasta el momento se han identificado cuatro mecanismos generales que permiten el desarrollo de la cooperación en entornos competitivos: aptitud inclusiva (o selección por parentesco), selección grupal, reciprocidad y selección en red. Adicionalmente, se han identificado al menos tres variantes específicas de reciprocidad: directa, indirecta y por identidad. Con excepción de este último, todos fueron sintetizados por Nowak (2006b) en cinco desigualdades que siguen el estilo de la regla de Hamilton (mantenida sin cambios como la primera de ellas). Así, en el contexto de la matriz general del dilema del prisionero (7), la cooperación puede surgir si:

- $\mathbf{b/c} > \mathbf{r}$

donde  $r$  = tasa de parentesco (aptitud inclusiva)

- $\mathbf{b/c} > \mathbf{1/(m+n)}$

donde  $m$  = número de grupos,  $n$  = población máxima por grupo (selección grupal)

- $\mathbf{b/c} > \mathbf{w}$

donde  $w$  = probabilidad de reencuentro (reciprocidad directa)

- $\mathbf{b/c} > \mathbf{q}$

donde  $q$  = probabilidad de conocer la reputación del otro (reciprocidad indirecta)

- **$b/c > k$**

donde  $k$  = número de vecinos (selección en red)

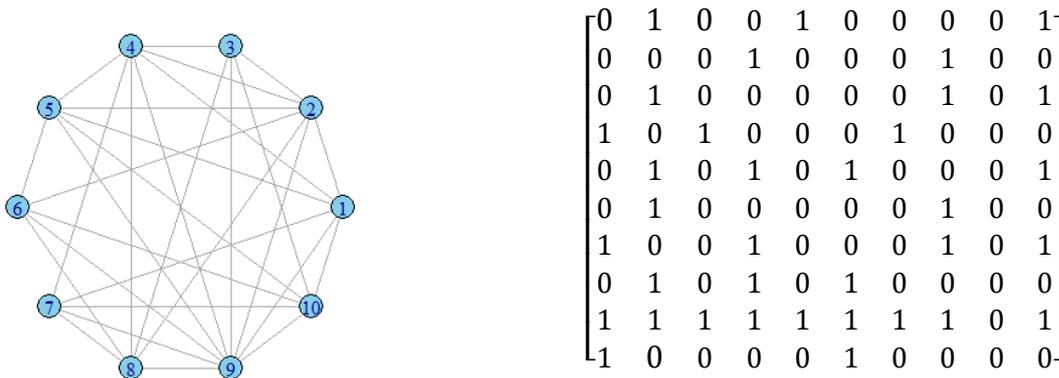
A lo largo de este recorrido se ha mostrado como el sesgo conceptual hacia la competencia se ha relajado, de manera que actualmente la importancia de la cooperación es ampliamente reconocida entre los estudiosos de la evolución. Hoy se puede argumentar con seguridad que competencia y cooperación son consideradas fuerzas fundamentales, antagónicas y complementarias, que moldean la evolución. La competencia promueve la innovación a través de la eficiencia, mientras la cooperación lo hace por síntesis. Es decir, construyendo cosas nuevas al combinar logros preexistentes.

## Capítulo 3 Metodología

### 3.1. Definiciones

Se concibe el sistema económico como un multigrafo no dirigido  $\Omega = (V, A)$ ; una red<sup>1</sup> de  $A$  interacciones entre  $V$  agentes, que generan movimiento de  $R$  recursos (siendo  $V$  y  $A$  conjuntos finitos y  $V \neq \emptyset$ ). La matriz de adyacencia  $A = [a_{ij}]$  representa la estructura social que determina la probabilidad de interacción entre los agentes. En este caso se asume como una red fija con interacciones binarias, de presencia (si  $a_{ij} = 1$ ) o ausencia (si  $a_{ij} = 0$ ) (fig. 3.1).

**Figura 3.1. Ejemplo de red económica, según el modelo propuesto**

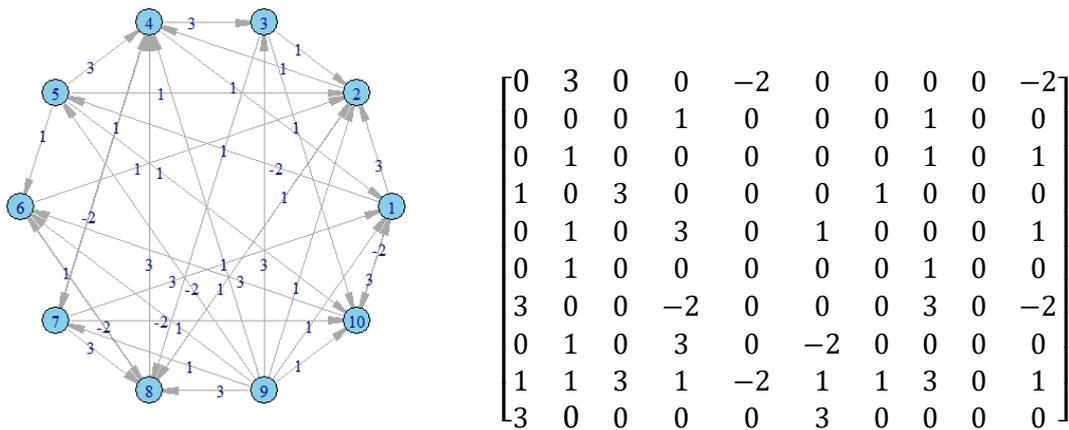


*Nota:* Izquierda: estructura de la red con  $V = 10$  vértices y  $A = 52$  interacciones. Derecha: matriz de adyacencia mostrando las conexiones entre agentes

Sobre esta base estructural se superpone una matriz de efectos  $E$ , donde cada elemento  $e_{ij}$  representa el flujo de recursos del vértice  $j$  al vértice  $i$ , como resultado de un encuentro del dilema del prisionero. De esta manera, en cada ronda de juegos, se forma un nuevo grafo dirigido  $\Omega = (V, E)$  (fig. 3.2). Al igual que en los juegos evolutivos clásicos, las transacciones  $e_{ij}$  se definen como entrega ( $-c$ ) u obtención ( $b$ ) de beneficios, según su dirección con respecto al nodo de referencia:  $e_{ij} = b_{ij} - c_{ij}$  (fig.3.2).

<sup>1</sup> En adelante los términos red y grafo, nodo y vértice, conexión y arista se usan indistintamente como sinónimos.

**Figura 3.2. Misma red del ejemplo anterior, luego de la ronda de juegos**



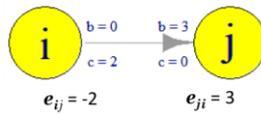
*Nota:* A la derecha, matriz de efectos  $E$  mostrando el flujo de recursos entre agentes

Sin embargo, a diferencia de los juegos “clásicos”, estas jugadas no se equiparan con cooperación y competencia. En su lugar se aplican los conceptos de cooperación y competencia indirecta usados en ecología, más cercanos a lo que usualmente se entiende como cooperativismo y competitividad en economía: colaboración o pugna por bienes comunes. Es decir, aportación u obtención de recursos al fondo común de un agente colectivo o empresa. Por otro lado, se mantiene el concepto de reciprocidad usado en teoría de juegos, muy similar al propuesto por la economía popular y solidaria (y la antropología económica): devolver el don (o la extracción) recibido en el encuentro previo, de acuerdo a la cercanía entre los actores (probabilidad  $a_{ij}$  de que se repita la interacción), cuyo propósito no es la obtención futura de un plusvalor (intereses o utilidades), sino el apoyo mutuo (Caillé 2009; Carranza 2013; Laville 2009b).

En general, todas las interacciones se definen a partir de combinaciones de las dos jugadas,  $\gamma = [C, B]$ , en los cuatro posibles resultados de la matriz de pagos  $\Gamma$ , su relación temporal y los agentes involucrados:

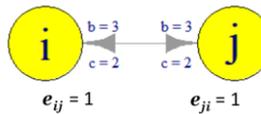
$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 & C & B \\
 C & (b-c & -c) \\
 B & b & 0
 \end{array} \\
 \Gamma =
 \end{array}
 \quad (21)$$

- **Donación.** Entrega unilateral de recursos (cuadrante  $\gamma_{11}$ ):  $b_{ij} = 0 \rightarrow e_{ij} = -c$

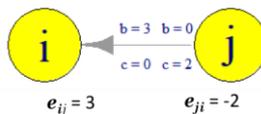


- **Intercambio.** Flujo bilateral y simultáneo de recursos (cuadrante  $\gamma_{12}$ ):

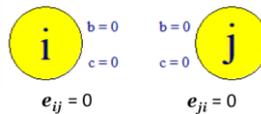
$$e_{ij} = e_{ji} = b - c$$



- **Extracción.** Obtención unilateral de recursos (cuadrante  $\gamma_{21}$ ):  $c_{ij} = 0 \rightarrow e_{ij} = b$ .



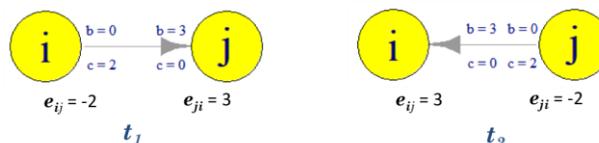
- **Transacción fallida.** Sin flujo de recursos (cuadrante  $\gamma_{22}$ ):  $c = 0, b = 0 \rightarrow e_{ij} = 0$ .



- **Reciprocidad.** Intercambio desfasado de recursos:  $b_{ij}^{t_1} = 0; c_{ji}^{t_1} = 0 \rightarrow e_{ij}^{t_1} = -c$

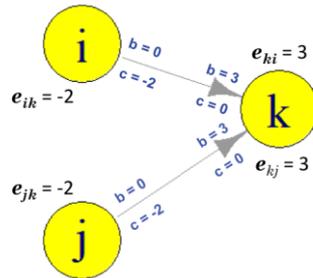
(cuadrante  $\gamma_{11}^{t_1}$ );  $e_{ji}^{t_1} = b$  (cuadrante  $\gamma_{21}^{t_1}$ ).<sup>2</sup>

$c_{ij}^{t_2} = 0; b_{ji}^{t_2} = 0 \rightarrow e_{ij}^{t_2} = b$  (cuadrante  $\gamma_{21}^{t_2}$ );  $e_{ji}^{t_2} = -c$  (cuadrante  $\gamma_{11}^{t_2}$ ).

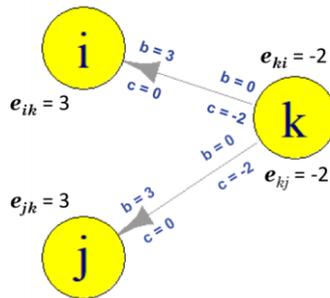


<sup>2</sup> Se indica el tiempo con superíndice para evitar confusión con los subíndices de los elementos de las matrices.

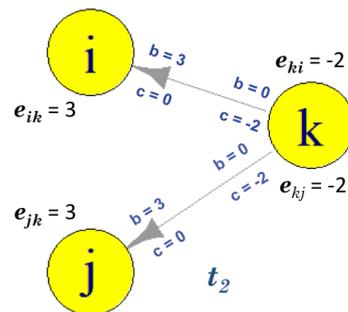
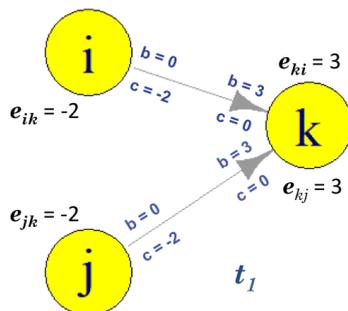
- Cooperación.** Cuando dos o más agentes aportan recursos a un tercero (en este caso, la reserva común):  $b_{ik} = 0; b_{jk} = 0; c_{ki} = 0; c_{kj} = 0 \rightarrow e_{ik} = -c; e_{jk} = -c; e_{ki} = b; e_{kj} = b$ .



- Competencia.** Cuando dos o más agentes obtienen recursos de un tercero:  $c_{ik} = 0; c_{jk} = 0; b_{ik} = 0; b_{jk} = 0 \rightarrow e_{ik} = b; e_{jk} = b; e_{ki} = -c; e_{kj} = -c$ .



- Redistribución.** Ciclo de cooperación-competencia (aporte y repartición de recursos):  $b_{ik}^{t_1} = 0; b_{jk}^{t_1} = 0; c_{ki}^{t_1} = 0; c_{kj}^{t_1} = 0 \rightarrow e_{ik}^{t_1} = -c; e_{jk}^{t_1} = -c; e_{ki}^{t_1} = b; e_{kj}^{t_1} = b$ .  
 $c_{ik}^{t_2} = 0, c_{jk}^{t_2} = 0; b_{ki}^{t_2} = 0, b_{kj}^{t_2} = 0 \rightarrow e_{ik}^{t_2} = b; e_{jk}^{t_2} = b; e_{ki}^{t_2} = -c; e_{kj}^{t_2} = -c$ .

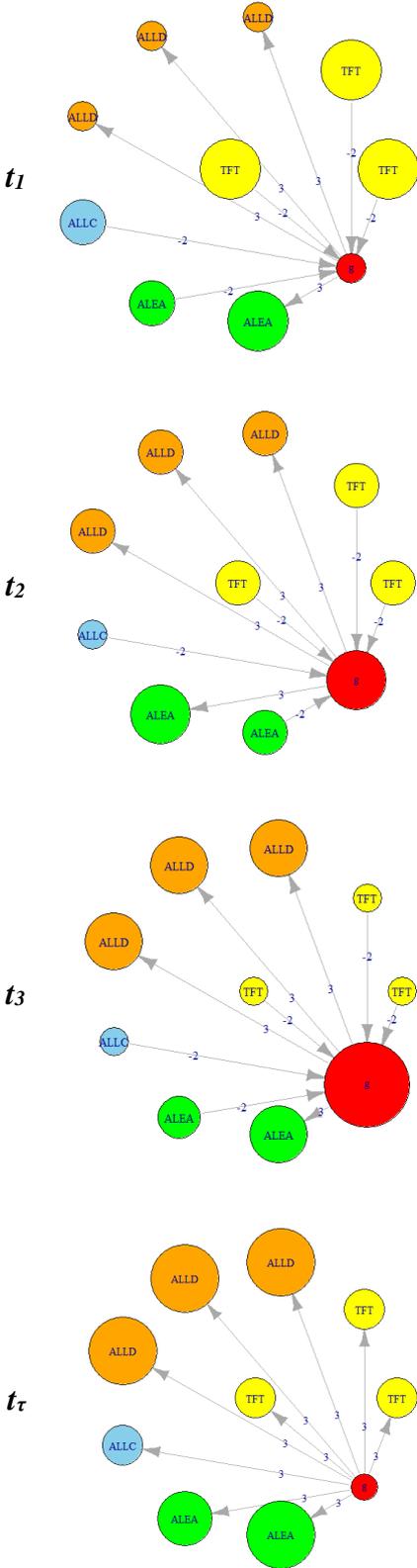


A diferencia de los juegos evolutivos clásicos, las transferencias  $e_{ij}$  que resultan de los encuentros no representan un efecto en la reproducción de los agentes (cambios en sus población) sino en la acumulación de recursos (cambios en sus colecciones). La aptitud de cada agente, entendida como reservas acumuladas (*stock*), se refleja en el diámetro de cada vértice  $v_i$ . Sin embargo, por el momento, tampoco se considera para generar reproducción cultural por imitación de estrategias. Las reservas de los agentes al final de cada ronda se obtienen de la sumatoria de todos sus efectos (sumatoria horizontal en  $\mathbf{E}$ ) más los recursos en la ronda previa:  $r_i^t = r_i^{t-1} + \sum_{j=0}^n e_{ij}$ . El cambio (crecimiento o decrecimiento) en las reservas se obtiene restando los recursos actuales del período anterior:  $\Delta r_g = r_g^t - r_g^{t-1}$ .

El conjunto de nodos está compuesto por subconjuntos de agentes individuales ( $N$ ) y grupales o empresas ( $G$ ):  $V = \{N, G\}$ . Se distinguen subpoblaciones  $n_i \subseteq N$  de tipos de individuos, que representan estrategias de juego  $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_\theta\}$ . Para este ensayo se aplican tres estrategias clásicas del dilema del prisionero: recíproco (TFT), extractor incondicional (ALLD), donador incondicional (ALLC) y una estrategia mixta (ALEA), que selecciona jugadas al azar con probabilidad 0,5.

Las empresas se definen como un tipo especial de jugador, que carece de estrategia propia y actúa como centro de acopio y redistribución, de acuerdo al concepto de Polanyi. Es decir que, en cada ronda  $t$ , sus integrantes aportan (o extraen) recursos (trabajo, insumos, dinero) a la reserva común y cada  $\tau$  rondas se reparten las ganancias (fig. 3.3). Simultáneamente, en cada  $t$ , los agentes colectivos juegan entre sí intercambiando los recursos aportados por sus socios (productos, dinero); pero, dado que carecen de estrategia propia, la selección de jugadas se resuelve por votación. Los tipos de estrategias se distinguen por colores: jugadores recíprocos en amarillo, agentes extractores en anaranjado, donadores en celeste, aleatorias en verde y grupos en rojo (fig. 3.3).

Figura 3.3. El grupo como centro de redistribución

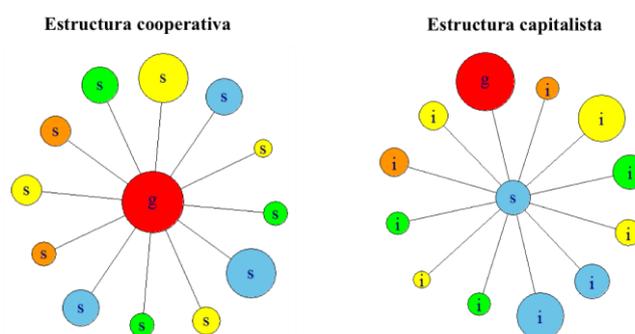


*Nota:* Se muestran los ciclos de aporte (cooperación) y repartición (competencia). Obsérvese el cambio en el radio de los nodos, como resultado de las transferencias de recursos. Dado que en esta configuración no hay conexiones entre individuos, tampoco ocurren juegos ni flujo de recursos dentro el grupo.

La diferencia entre empresas cooperativas y convencionales o capitalistas se determina por la estructura del grupo:

- **Empresas cooperativas.** Subgrafos donde la reserva común está en el centro, de manera que todos o la mayoría de sus integrantes tienen acceso a beneficios de la misma y capacidad de decisión sobre sus transacciones externas (juego entre grupos). Es decir que son grupos de propiedad colectiva, manejo democrático y mayor equidad en aportes y beneficios de los socios. En consecuencia, el subgrupo de socios abarca todo el grupo:  $s_g = g_i$  (fig. 3.4).
- **Empresas capitalistas.** Subgrafos donde uno (propietario) o pocos socios accionistas ocupan una posición central, con acceso a beneficios de la reserva común y capacidad de decisión sobre sus transacciones externas (juego entre grupos) e internas (pago a los demás integrantes del grupo). Por lo tanto, son agentes colectivos donde la propiedad y el control está en manos de un propietario o un pequeño subgrupo de socios:  $s_g \subset g_i$  (fig. 3.4).

**Figura 3.4. Ejemplo de tipos de grafos grupales**



*Nota:* **s:** socios de la empresa, **i:** otros integrantes del grupo u “obreros”, **g:** reserva común

### 3.2. El juego

A continuación se describe el algoritmo usado para las simulaciones, en forma de pseudocódigo.

#### Condiciones iniciales

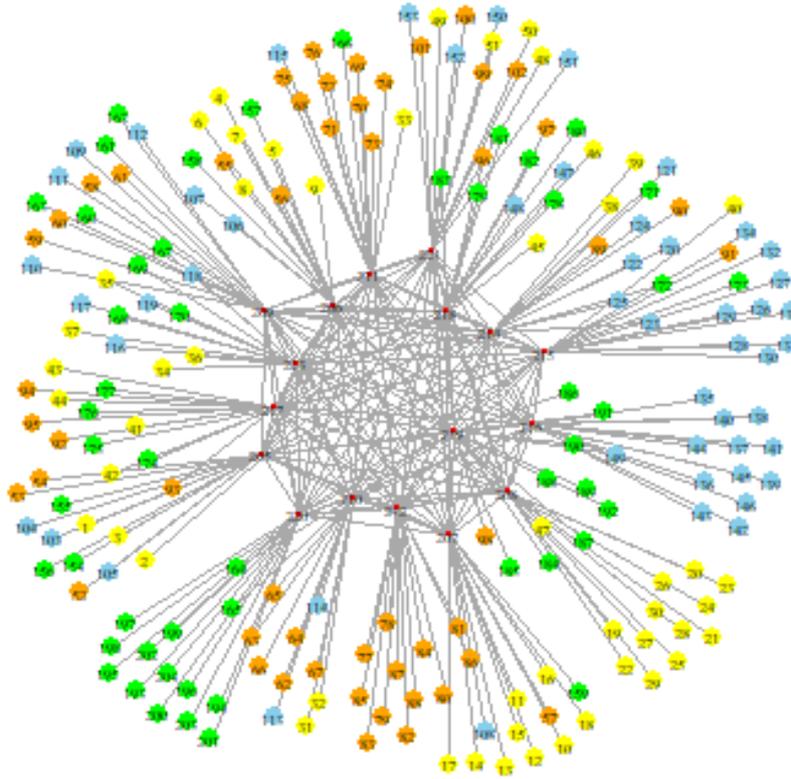
1. **Población de agentes individuales.** Se define la población total de agentes individuales,  $N = \{n_1, n_2, n_3, n_4\}$ , donde cada subpoblación corresponde a una de las cuatro estrategias:  $n_1 = TFT$ ,  $n_2 = ALLD$ ,  $n_3 = ALLC$ ,  $n_4 = ALEA$ . Para las simulaciones se usó una población total de 204 individuos, repartidos por igual en 4 subpoblaciones de 51 individuos para cada estrategia:  $N = 51 * 4 = 204$ .
2. **Conjunto de agentes colectivos.** Definir la cantidad inicial de grupos:  $G = 17$ .
3. **Conjunto de nodos.** Se define el conjunto de nodos:  $V = \{N, G\} = 221$
4. **Vector de tipos de jugadores.** Se crea un vector de acuerdo al número de subpoblaciones:  
 $\theta = [TFT * n_1, ALLD * n_2, ALLC * n_3, ALEA * n_4, grupo * G]$
5. **Vector de jugadas.** Crear  $\gamma = [C, B]$ .
6. **Tiempo.** Se define el número de rondas,  $\tau = 4t$ , y el número de períodos,  $T = 12\tau$ .
7. **Existencias de recursos.** Se determina la disponibilidad inicial de recursos, 5 para cada agente individual y 1 para cada grupo:  $r_i = 5$ ,  $r_g = 1$ . Incluir en el vector inicial de recursos  $r^{t_0} = [5 * N, 1 * G]$ . Crear contenedor para serie temporal de  $r$  en cada cada  $t$ :  
*Serie.R* =  $\{r^{t_0}, r^{t_2}, r^{t_3}, \dots, r^T\}$ .
8. **Matriz de efectos.** Crear matriz  $E = [e_{ij}]$  con  $i, j = \{1, 2, 3, \dots, V\}$ . Crear contenedor para serie temporal de matrices en cada cada  $t$ : *Serie.E* =  $\{E^{t_0}, E^{t_2}, E^{t_3}, \dots, E^T\}$ , siendo  $E^{t_0} = 0 \forall e_{ij}$ .
9. **Matriz de memoria.** Crear matriz  $M = [m_{ij}]$ , con  $i, j = \{1, 2, 3, \dots, V\}$  y  $M^{t_0} = 0 \forall m_{ij}$ .  
En cada  $t$  se registran las jugadas de los agentes, C ó B. Los elementos  $m_{ij}$  representan la respuesta de  $j$  hacia  $i$ . Puesto que se usan estrategias de memoria 1, no se guarda una serie temporal de esta matriz, sino que se reutiliza en cada ronda.
10. **Funciones de estrategias**  
Usan los siguientes argumentos:
  - Matriz de memoria  $M$
  - Vector de jugadas  $\gamma$

- Jugador  $i$
  - Oponente  $j$
- 10.1. **Estrategia recíproca, TFT.** Selecciona  $\gamma_1 = C$ , si  $m_{ij} = 0$  ó  $C$  y  $\gamma_2 = B$ , si  $m_{ij} = B$ .
  - 10.2. **Estrategia extractora, ALLD.** Selecciona  $\gamma_2 = B$ , sin condición.
  - 10.3. **Estrategia donadora, ALLC.** Selecciona  $\gamma_1 = C$ , sin condición.
  - 10.4. **Estrategia aleatoria, ALEA.** Selecciona al azar uno de los elementos de  $\gamma$ .

### Formación de la red:

11. **Matriz de adyacencia.** Crear la matriz  $A = [a_{ij}]$  de acuerdo al tipo de grupo, donde  $i, j = \{1, 2, 3, \dots, V\}$ .
12. **Red económica.** Crear la red inicial  $\Omega^{t_0}$  a partir de  $A$ . Los agentes grupales están totalmente interconectados, formando un subgrafo completo; mientras que al interior de cada grupo se permiten varios arreglos, de acuerdo al diseño experimental (ver 3.3).
13. **Tamaño de nodos.** Asignar el tamaño del nodo de cada agente, según el vector  $r$ .
14. **Color según tipo de agente.** Se asigna un color a cada nodo, según  $\theta$ :
  - TFT  $\rightarrow$  amarillo
  - ALLD  $\rightarrow$  anaranjado
  - ALLC  $\rightarrow$  celeste
  - ALEA  $\rightarrow$  verde
  - Grupo  $\rightarrow$  rojo
15. **Red inicial.** Graficar la red inicial  $\Omega^{t_0}$  y almacenarla en la memoria (fig. 3.5).

**Figura 3.5. Ejemplo de red inicial para la simulación**



*Nota:* Observar el radio de los nodos grupales en relación a los individuales y los colores de acuerdo al tipo de agente.

**16. Submatrices.** Crear submatrices de interacciones (tabla 3.1):

- Juego entre individuos:  $\mathbf{A}_{NN} = [a_{ij}]$ , con  $i, j = \{1, 2, 3, \dots, N\}$
- Juego individuos – grupos (acopio de aportes de los socios):  $\mathbf{A}_{NG} = [a_{ij}]$ , con  $i = \{1, 2, 3, \dots, N\}$  y  $j = \{1, 2, 3, \dots, G\}$
- Juego entre grupos:  $\mathbf{A}_{GG} = [a_{ij}]$ , con  $i, j = \{1, 2, 3, \dots, G\}$
- Juego grupos – individuos (redistribución de reservas a los socios):  $\mathbf{A}_{GN} = [a_{ij}]$ , con  $i = \{1, 2, 3, \dots, G\}$  y  $j = \{1, 2, 3, \dots, N\}$

**Tabla 3.1. Matriz de adyacencia y submatrices de interacciones**

		N					G				
N	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	...	$a_{1n}$	$a_{1g_1}$	$a_{1g_2}$	...	$a_{1G}$	
	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$	...	$a_{2n}$	$a_{2g_1}$	$a_{2g_2}$	...	$a_{2G}$	
	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$	...	$a_{3n}$	$a_{3g_1}$	$a_{3g_2}$	...	$a_{3G}$	
	$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$	...	$a_{4n}$	$a_{4g_1}$	$a_{4g_2}$	...	$a_{4G}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	
	$a_{n1}$	$a_{n2}$	$a_{n3}$	$a_{n4}$	...	$a_{nn}$	$a_{ng_1}$	$a_{ng_2}$	...	$a_{nG}$	
G	$a_{g_1 1}$	$a_{g_1 2}$	$a_{g_1 3}$	$a_{g_1 4}$	...	$a_{g_1 n}$	$a_{g_1 g_1}$	$a_{g_1 g_2}$	...	$a_{g_1 G}$	
	$a_{g_2 1}$	$a_{g_2 2}$	$a_{g_2 3}$	$a_{g_2 4}$	...	$a_{g_2 n}$	$a_{g_2 g_1}$	$a_{g_2 g_2}$	...	$a_{g_2 G}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	
	$a_{G1}$	$a_{G2}$	$a_{G3}$	$a_{G4}$	...	$a_{Gn}$	$a_{Gg_1}$	$a_{Gg_2}$	...	$a_{GG}$	

Nota: Verde:  $A_{NN}$ , violeta:  $A_{NG}$ , anaranjado:  $A_{GG}$ , azul:  $A_{GN}$ .

## Simulación

### 17. Inicio

18. **Ciclo (loop) de períodos.** En cada período  $\tau$ , hasta  $T = 12\tau$ :

18.1. **Ciclo de rondas.** En cada ronda  $t$ , hasta  $\tau = 4t$ :

18.1.1. **Ciclo de juego entre individuos.** Para cada jugador  $i = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ :

18.1.2. **Vector de oponentes.** Ubicar oponentes en la fila  $i$  de  $A_{NN}$  ( $a_{ij} = 1$ ) y crear vector  $j = [1, 2, 3, \dots, J]$

18.1.2.1. **Ciclo de juego con cada oponente.** Para cada oponente  $j = \{1, 2, 3, \dots, J\}$ :

18.1.2.1.1. **Jugada de  $i$ .** Aplicar la función correspondiente, de acuerdo a  $\theta_i$ , para seleccionar una jugada de  $\gamma$ .

18.1.2.1.2. **Jugada de  $j$ .** Aplicar la función correspondiente, de acuerdo a  $\theta_j$ , para seleccionar una jugada de  $\gamma$ .

18.1.2.1.3. **Resultados y efectos.** Registrar resultados en la matriz de efectos, según la matriz de pagos. En la condición de base, cuando la presión selectiva es igual en los niveles intergrupales e intragrupal, se usa  $b = 3$ ;  $c = 2$  (matriz de pagos 23) en ambos casos. Para crear una

diferencia de presión selectiva, se usa  $b = 1,5$ ;  $c = 1$  (matriz 24) en el nivel con menor presión selectiva.

$$\Gamma = \begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} \text{C} & \text{B} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{C} \\ \text{B} \end{array} & \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ 3 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \quad (23)$$

$$\Gamma = \begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} \text{C} & \text{B} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{C} \\ \text{B} \end{array} & \begin{pmatrix} 0,5 & -1 \\ 1,5 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \quad (24)$$

18.1.2.1.4. **Registro de jugadas.** Registrar la jugada seleccionada por  $i$  en  $m_{ji}$  y la jugada seleccionada por  $j$  en  $m_{ij}$ .

18.1.2.2. **Fin del encuentro con  $j$ .** Repetir para cada  $j$ .

18.1.3. **Fin de todos los encuentros de  $i$ .** Repetir para cada  $i$ .

18.1.4. **Ciclo de juego individuos-grupos.** Los socios deciden aportar o extraer recursos de la reserva común. Para cada jugador  $i = \{1,2,3, \dots, N\}$ :

18.1.5. **Ubicar grupo.** En la fila  $i$  de  $A_{NG}$  donde  $a_{ij} = 1$ , identificar columna  $g$ .

18.1.6. Si  $a_{ij} = 0 \forall g$ ,  $i$  no puede interactuar con  $g$ ; es decir que no es socio del grupo, sino solo integrante de la comunidad. Entonces, se pasa al siguiente  $i$ . Caso contrario, continúa con el ciclo de juego.

18.1.6.1. **Ciclo de juego con el grupo.** El socio  $i$  escoge una jugada de  $\Gamma$  con la función correspondiente, de acuerdo a  $\theta_i$ . En la ronda de aportes no se considera respuesta de  $g$ .

18.1.6.2. **Resultados y efectos.** Registrar resultados en la matriz de efectos, según la matriz de pagos.

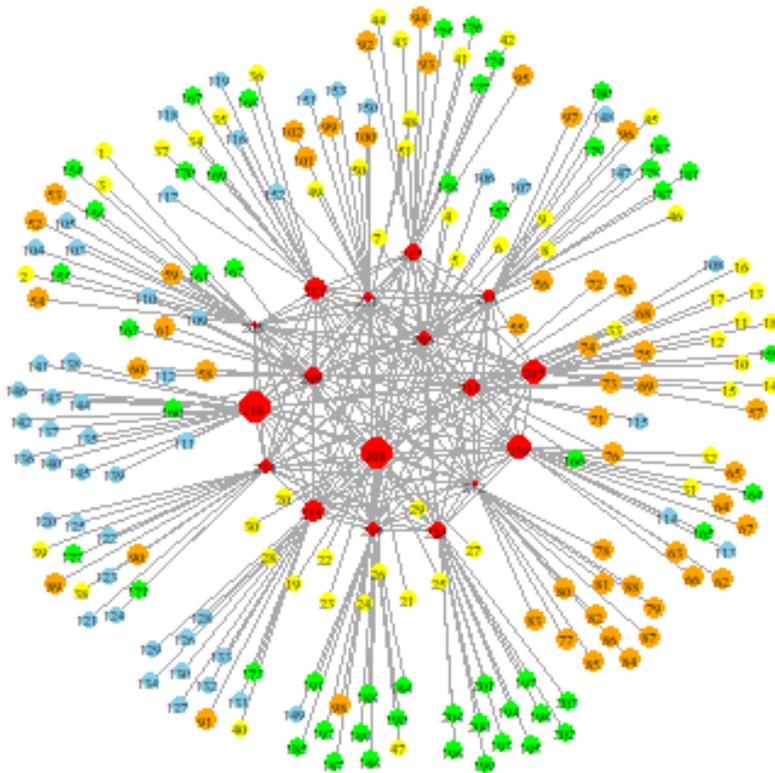
18.1.6.3. **Registro de jugadas.** Registrar la jugada seleccionada por  $i$  en  $m_{gi}$  y la jugada seleccionada por  $g$  en  $m_{ig}$ .

18.1.6.4. **Fin del encuentro con  $g$ .** Repetir para cada  $g$  (aunque en este diseño cada individuo pertenece a un solo grupo).

- 18.1.7. **Fin de todos los encuentros de  $i$ .** Repetir para cada  $i$ .
- 18.1.8. **Ciclo de juego entre grupos.** Para cada grupo  $g = \{1,2,3, \dots, G\}$ :
- 18.1.9. **Vector de oponentes.** Ubicar oponentes en la fila  $g$  de  $A_{GG_i}$  ( $a_{ij} = 1$ ) y crear vector  $f = [1,2,3, \dots, F]$ .
- 18.1.9.1. **Ciclo de juego con cada oponente.** Para cada oponente  $f = \{1,2, \dots, F\}$ :
- 18.1.9.1.1. **Jugada de  $g$ :**
- 18.1.9.1.2. **Vector de socios.** En la fila  $g$  de  $A_{GN}$  identificar socios ( $a_{ij} = 1$ ) y crear vector  $s = [1,2,3, \dots, S]$ .
- 18.1.9.1.3. **Vector de votaciones.** Crear “urna” para la votación, de acuerdo al “padrón”  $s$  de socios:  $u = [u_1, u_2, u_3, \dots, u_s], \forall u_i = 0$ .
- 18.1.9.1.3.1. **Ciclo de votación.** Cada socio  $s = \{1,2, \dots, S\}$  escoge una jugada de  $\gamma$ , de acuerdo a  $\theta_i$ , con la función correspondiente. Se almacena la decisión en  $u_i$ .
- 18.1.9.1.3.2. **Fin de la votación.** Repetir para cada  $s$ .
- 18.1.9.1.4. **Conteo de votos.** Se selecciona la jugada con mayor frecuencia dentro de  $u$  como jugada de  $g$ .
- 18.1.9.1.5. **Jugada de  $f$ :**
- 18.1.9.1.5.1. **Vector de socios.** En la fila  $f$  de  $A_{GN}$  identificar socios ( $a_{ij} = 1$ ) y crear vector  $s = [1,2,3, \dots, S]$ .
- 18.1.9.1.5.2. **Vector de votaciones.** Crear “urna” para la votación, de acuerdo al “padrón” de socios:  $u = [u_1, u_2, u_3, \dots, u_s], \forall u_i = 0$ .
- 18.1.9.1.5.3. **Ciclo de votación.** Cada socio  $s = \{1,2, \dots, S\}$  escoge una jugada de  $\gamma$ , de acuerdo a  $\theta_i$ , con la función correspondiente. Almacenar decisión en  $u_i$ .
- 18.1.9.1.5.4. **Fin de la votación.** Repetir para cada  $s$ .
- 18.1.9.1.6. **Conteo de votos.** Se selecciona la jugada con mayor frecuencia dentro de  $u$  como jugada de  $f$ .

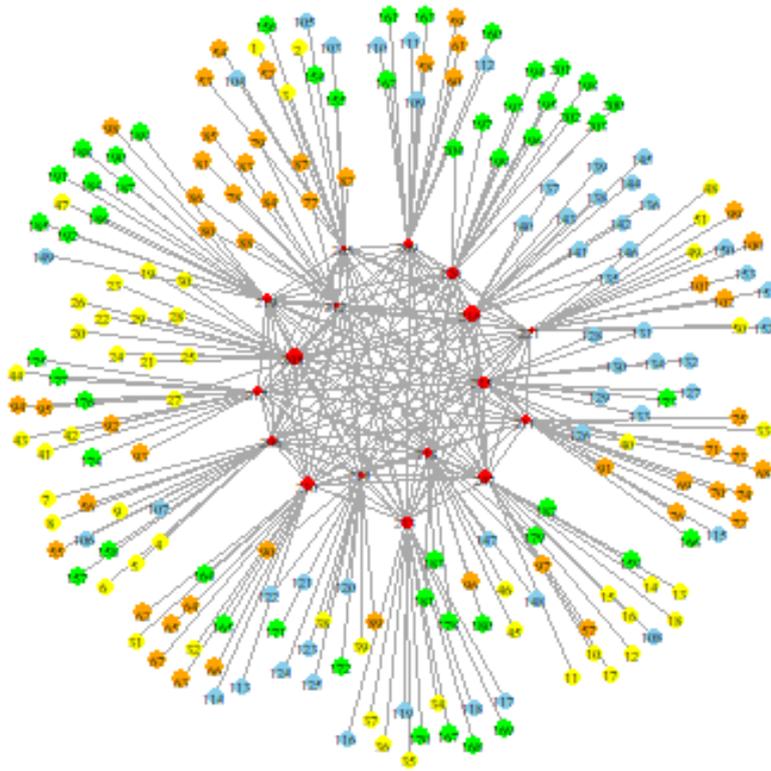
- 18.1.9.1.7. **Resultados y efectos.** Registrar resultados en la matriz de efectos, según la matriz de pagos.
- 18.1.9.1.8. **Registro de jugadas.** Registrar la jugada seleccionada por  $g$  en  $m_{fg}$  y la jugada seleccionada por  $f$  en  $m_{gf}$ .
- 18.1.9.2. **Fin del encuentro con  $f$ .** Repetir para cada  $f$ .
- 18.1.10. **Fin de todos los encuentros de  $g$ .** Repetir para cada  $g$ .
- 18.1.11. **Actualizar reservas de recursos.** Para cada  $v_i$  en  $v = \{1,2,3, \dots, V\}$ :  
 $r_i = r_i + \sum_i e_{ij}$ , siendo  $e_{ij} \in E$ . Para evitar valores negativos, si  $r_i < 0 \rightarrow r_i = 0$ .
- 18.1.12. **Actualización de red.** Crear la red  $\Omega^{t_1}$  a partir de  $A^{t_1}$ .
- 18.1.13. **Tamaño de nodos.** Asignar el tamaño del nodo a cada agente, según el vector  $r$  actualizado.
- 18.1.14. **Color según tipo de agente.** Se asigna un color a cada nodo, según  $\theta$ .
- 18.1.15. **Graficar y almacenar.** Graficar la red  $\Omega^{t_1}$  y almacenarla en la memoria (fig. 3.6).

**Figura 3.6.** Misma red del ejemplo anterior, luego de  $\tau$  rondas de juegos simultáneos entre agentes individuales, individuos-grupos (aportes de los socios) y entre grupos



- 18.1.16. **Serie temporal de recursos.** Registrar  $r^{t_1}$  en el contenedor Serie.R.
- 18.1.17. **Serie temporal de efectos.** Registrar  $E^{t_1}$  en el contenedor Serie.E.
- 18.2. **Fin de la ronda  $t$ .** Repetir  $\tau$  veces.
- 18.3. **Ciclo de juego grupos-individuos (redistribución).** Para cada grupo  $g = \{1,2,3, \dots, G\}$ :
- 18.4. **Vector de socios.** Ubicar socios en la fila  $i$  de  $A_{GN}$  ( $a_{ij} = 1$ ) y crear vector  $s = [1,2,3, \dots, S]$ .
- 18.5. **Calcular ganancias:**  $\Delta r_g = r_g^{t_1} - r_g^{t_0}$ . Repetir para cada  $g$ .
- 18.5.1. **Ciclo de redistribución.** Si  $\Delta r_g > 0 \rightarrow$  para cada  $s_i$  en  $s = \{1,2,3, \dots, S\}$ :
- 18.5.1.1. **Repartir beneficios.**  $g$  juega  $C$  y entrega el valor correspondiente, de acuerdo a la matriz de pagos. Registrar en la matriz de efectos.
- 18.5.2. **Fin de la redistribución.**
- 18.6. **Fin del juego de  $g$ .** Repetir para cada  $g$ .
- 18.7. **Actualizar reservas de recursos.** Para cada  $v_i$  en  $v = \{1,2,3, \dots, V\}$ :  $r_i = r_i + \sum_i e_{ij}$ , siendo  $e_{ij} \in E$ . Si  $r_i < 0 \rightarrow r_i = 0$ .
- 18.8. **Actualizar la red.** Crear la red  $\Omega^{t_\tau}$  a partir de  $A$ .
- 18.9. **Tamaño de nodos.** Asignar el tamaño del nodo de cada agente, según el vector  $r$  actualizado.
- 18.10. **Color según tipo de agente.** Se asigna un color a cada nodo, según  $\theta$ .
- 18.11. **Graficar y almacenar.** Graficar la red  $\Omega^{t_\tau}$  (fig. 3.7) y almacenarla en la memoria.
- 18.12. **Serie temporal de recursos.** Registrar  $r^{t_\tau}$  en el contenedor Serie.R. Almacenar en la memoria.
- 18.13. **Serie temporal de efectos.** Registrar  $E^{t_\tau}$  en el contenedor Serie.E. Almacenar en la memoria.
19. **Fin del período  $\tau$ .** Repetir  $\tau$  veces.
20. **Fin de la simulación**

**Figura 3.7. Red luego de la ronda de redistribución (juego grupos-individuos)**



### 3.3. Diseño experimental

Para probar la hipótesis reciprocidad-cooperativismo, se analiza el efecto de los individuos ojo-por-ojo sobre la aportación de recursos a la reserva grupal. Se utilizó su proporción dentro del grupo como variable explicativa, con siete niveles:  $\frac{TFT_s}{n_g} = 0, 1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 1/2, 3/4$ ; y como medida de cooperación se usó la sumatoria intertemporal de efectos (de la serie temporal de  $E$ ) de los socios sobre el grupo:  $Coop = \sum_{i,t=1}^{n,T} e_{gi}^t$ . Dado que los aportes (cooperación) tienen signo positivo ( $e_{gi} > 0$ ) y los retiros (competencia) negativo ( $e_{gi} < 0$ ), el efecto combinado de los socios será mayor mientras más acciones cooperativas se realicen.

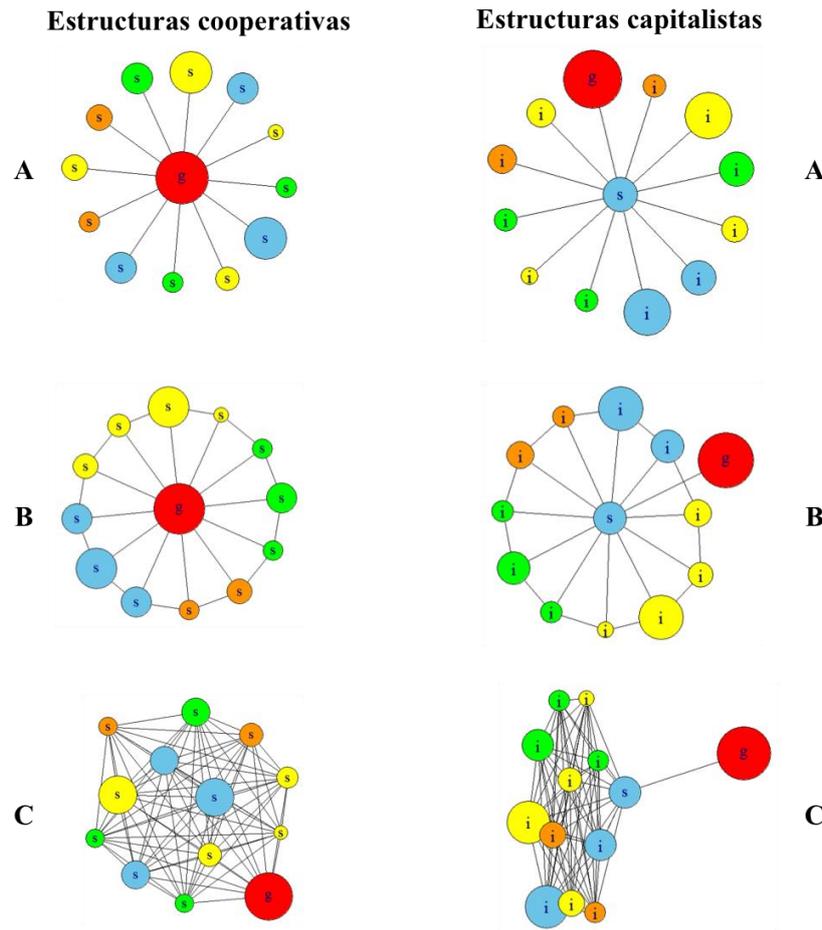
Adicionalmente, se consideran las siguientes covariables:

- Selección grupal, razón entre los valores de la matriz de pagos del juego grupal y la del juego entre individuos,  $BC = \frac{\Gamma_G}{\Gamma_N}$ . Tres niveles: selección grupal igual que la individual ( $BC = 1$ ), mayor que la individual ( $BC = 2$ ) y menor que la individual ( $BC = 0,5$ ).

- Proporción de socios de las demás estrategias: *ALLDs*, *ALLCs*, *ALEAs*. Siete niveles:  $\frac{\theta_s}{n_g} = 0, 1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 1/2, 3/4$ . Siendo *ALEAs* la condición de control.
- Proporción total de integrantes de cada estrategia (incluyendo aquellos que no son socios de la empresa): *TFTg*, *ALLDg*, *ALLCg*, *ALEAg*. Siete niveles:  $\frac{\theta_i}{n_g} = 0, 1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 1/2, 3/4$ .
- Conectividad interna,  $Gg = \frac{\sum_i grad_i}{n_g}$ : grado promedio del subgrafo grupal, considerando solamente aristas entre integrantes del grupo (es decir, no con la reserva común). Siete niveles:  $Gg = 0; 0,083; 1,83; 2; 3,66; 11; 12$ .
- Acceso a la reserva común,  $Dg = \frac{\sum_{j=1}^g a_{ij}}{n_g}$ : distancia (número de aristas entre el nodo  $i$  y el nodo grupal  $g$ ) promedio de los integrantes del subgrafo grupal hacia la reserva común. Cinco niveles:  $Dg = 1; 1,92; 3,5; 4; 6,5$ .
- Tipo de empresa, representada por el número de socios ( $S$ ). Binario: cooperativo,  $S = 12$ , y capitalista,  $S = 1$ .

Se utilizó una población total de  $N = 204$  agentes individuales distribuidos en  $G = 17$  grupos de  $n_g = 12$  integrantes cada uno, lo que da un total de  $V = 221$  vértices. De esta manera, cada grupo cuenta con una combinación única de las diferentes proporciones de estrategias. Todos los grupos interactúan entre sí, formando un subgrafo completo; pero su estructura interna presenta 6 formas distintas que generan los diferentes niveles de las variables estructurales  $Gg$ ,  $Dg$  y  $S$ : estrella cooperativa, estrella capitalista, estrella-anillo cooperativa, estrella-anillo capitalista, grafo completo cooperativo, grafo completo capitalista (fig. 3.8). Para cada subgrafo capitalista se generaron cuatro versiones distintas, una por cada tipo de “propietario” (*TFTs*, *ALLDs*, *ALLCs*, *ALEAs*), de manera que se obtuvieron 15 variantes estructurales. Adicionalmente, de cada una se requieren tres niveles de selección grupal ( $BC$ ), lo que resulta en un total de 45 redes distintas. Las estrategias aleatorias, además de actuar como controles, aportan variación a los resultados. Por tal razón, se realizaron 10 repeticiones para cada red, que generaron un total de 450 simulaciones. Con los resultados de las mismas, se obtienen los promedios para cada condición y se genera una base de datos con las variables especificadas anteriormente.

**Figura 3.8. Estructuras de los grupos. A: estrella, B: estrella-anillo, C: grafo completo**



De esta manera es posible responder las preguntas de investigación: (A) ¿es la reciprocidad la clave del cooperativismo?, como plantean los teorizadores de la economía popular y solidaria, o (B) ¿es consecuencia de la selección grupal? A pesar de que se trata de datos generados por simulación, es un paso importante que aporta argumentos más allá de lo intuitivo. Además, no se debe perder de vista que se trata de un ensayo previo para una eventual aplicación posterior con datos reales.

Para la hipótesis reciprocidad cooperativismo, se aplicó el siguiente modelo multivariado sencillo:

$$Coop_i = \beta_0 + \beta_1 TFTs_i + \beta_2 BC_i + \beta_3 ALLDs_i + \beta_4 ALLCs_i + \beta_5 ALEAs_i + \beta_6 TFTg_i + \beta_7 ALLDg_i + \beta_8 ALLCg_i + \beta_9 ALEAg_i + \beta_{10} Gg_i + \beta_{11} Dg_i + \beta_{12} S_i + \varepsilon_i$$

y una versión con interacciones entre factores:

$$Coop_i = \beta_0 + \beta_1 TFTs_i(\beta_2 BC_i + \beta_3 ALLDs_i + \beta_4 ALLCs_i + \beta_5 ALEAs_i + \beta_6 TFTg_i + \beta_7 ALLDg_i + \beta_8 ALLCg_i + \beta_9 ALEAg_i + \beta_{10} Gg_i + \beta_{11} Dg_i + \beta_{12} S_i) + \varepsilon_i$$

Así, con un nivel de significación estadística de  $\alpha \leq 0,05$ , partimos de la hipótesis nula  $H_a$  de que no existe efecto de la reciprocidad sobre el cooperativismo, definido como aportes de los socios a la reserva común. Como hipótesis alternativa ( $H_A$ ) se plantea que la reciprocidad (proporción de socios recíprocos) sí genera un efecto significativo y positivo:

$$\begin{cases} H_a: \beta_1 \leq 0 \\ H_A: \beta_1 > 0 \end{cases}$$

De igual manera, de acuerdo a la teoría de selección grupal, cuando la presión selectiva en el nivel entre grupos es mayor que al interior de los grupos ( $BC > 1$ ), la cooperación emerge porque favorece la aptitud colectiva ( $Rf$ ). Así, para probarlo se aplica el modelo estadístico:

$$Rf_i = \beta_0 + \beta_1 BC_i + \beta_2 TFTs_i + \beta_3 ALLDs_i + \beta_4 ALLCs_i + \beta_5 ALEAs_i + \beta_6 TFTg_i \\ + \beta_7 ALLDg_i + \beta_8 ALLCg_i + \beta_9 ALEAg_i + \beta_{10} Gg_i + \beta_{11} Dg_i + \beta_{12} S_i + \varepsilon_i$$

y su respectiva versión con interacciones entre factores:

$$Rf_i = \beta_0 + \beta_1 BC_i (\beta_2 TFTs_i + \beta_3 ALLDs_i + \beta_4 ALLCs_i + \beta_5 ALEAs_i + \beta_6 TFTg_i + \beta_7 ALLDg_i \\ + \beta_8 ALLCg_i + \beta_9 ALEAg_i + \beta_{10} Gg_i + \beta_{11} Dg_i + \beta_{12} S_i) + \varepsilon_i$$

Entonces, la hipótesis nula  $H_b$  señala que no existe efecto de la selección grupal sobre la acumulación de reservas comunes. Como hipótesis alternativa  $H_B$  se plantea que sí genera un efecto significativo y positivo:

$$\begin{cases} H_b: \beta_1 \leq 0 \\ H_B: \beta_1 > 0 \end{cases}$$

A continuación se presentan y discuten los resultados de estos análisis.

## Capítulo 4 Resultados

### 4.1. Reciprocidad

Se observó una relación altamente significativa y positiva entre los agentes recíprocos y los aportes a la reserva común (Coop), lo cual respalda la hipótesis reciprocidad-cooperativismo (tabla 4.1). Sin embargo, también se obtuvieron efectos altamente significativos para los demás tipos de agentes, con excepción de los aleatorios.

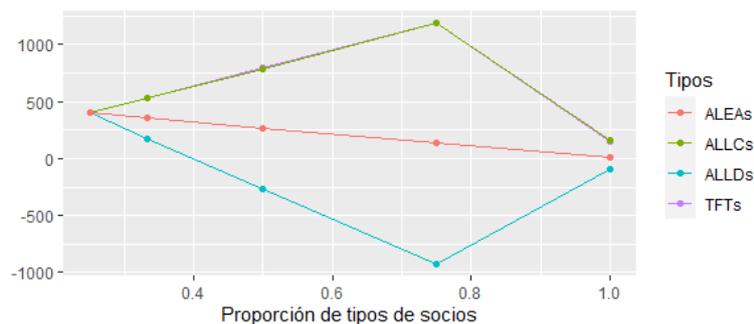
**Tabla 4.1. Resultados de la regresión lineal de los aportes a la reserva común como variable dependiente**

Coeficientes	Estimaciones	Error est.	t de Student	Pr(> t )
Intercepto	613,09	66,38	9,236	< 2e-16 ***
TFTs	161,26	33,02	4,884	1,27e-06 ***
BC	2,23	17,34	0,129	0,8977
TFTg	293,57	49,29	5,956	3,97e-09 ***
ALLDs	-130,43	32,94	-3,960	8,20e-05 ***
ALLDg	-356,69	49,29	-7,236	1,14e-12 ***
ALLCs	165,51	32,94	5,026	6,27e-07 ***
ALLCg	357,93	49,29	7,261	9,55e-13 ***
ALEAs	NA	NA	NA	NA
ALEAg	NA	NA	NA	NA
S	NA	NA	NA	NA
Gg	-3,83	2,14	-1,790	0,0738
Dg	-354,32	29,43	-12,040	< 2e-16 ***
* < 0,05; ** < 0,01; *** < 0,001				
755 grados de libertad				
Error estándar de los residuos	$R^2$	$R^2$ ajustado	Prueba de Fisher	P

299,1	0,4316	0,4248	63,69	< 2,2e-16
Residuos:				
Min	1Q	Mediana	3Q	Max
-1360,12	-154,25	-9,99	126,86	876,95

De acuerdo a lo esperado, el efecto de las estrategias recíprocas y donadoras fue positivo y el de los extractores negativo. El comportamiento cooperativo de los grupos con socios donadores y recíprocos es prácticamente idéntico y opuesto al de los extractores. Además, retorna a la media cuando los grupos son totalmente homogéneos (fig. 4.1). Esto puede deberse a que en grupos heterogéneos los recursos fluyen de los donadores y recíprocos hacia los extractores, ya sea indirectamente a través de la reserva grupal o directamente por el juego entre individuos (lo que limita la cooperación). Sin embargo, el efecto de la reciprocidad se distingue de la donación incondicional (o altruismo) cuando se considera su interacción con la selección grupal (tabla 4.2).

**Figura 4.1. Relación entre cooperación y proporción de tipos de socios**



Por otro lado, el efecto de los integrantes de los grupos es mayor que el de los socios propiamente dichos (más o menos el doble de unidades de recursos), a pesar de no tener acceso directo a la reserva común. Esto puede estar relacionado con el efecto de la distancia a la reserva común ( $D_g$ ), que tiene una magnitud similar (354,32).

El modelo con interacciones entre factores presenta mejor capacidad explicativa ( $R^2 = 0,93$ ) y ofrece varios resultados interesantes (tabla 4.2). En primer lugar, confirma la importancia de la reciprocidad, ya que los socios ojo-por-ojo se mantienen como único tipo de agente con efecto significativo (aunque menor) por sí solo. Además emerge el efecto de la conectividad

interna del grupo, que no se evidencia en la regresión sencilla, y de la interacción entre los dos (TFTs:Gg). Una relación similar se observa entre la conectividad del grupo y el total de integrantes recíprocos (TFTg:Gg). De igual manera, de acuerdo a lo esperado, la combinación de socios recíprocos y donadores (TFTs:ALLCs) tiene un efecto considerable (más de 1000 unidades).

Por el contrario, sorprende que el efecto combinado de socios recíprocos y extractores (TFTs:ALLDs) sea positivo; mientras que su combinación con socios altruistas (ALLDs:ALLCs) sea negativo (ambos de importante magnitud). El efecto negativo de socios competitivos y conectividad interna (ALLDs:Gg) respondería a una mayor extracción en el juego entre individuos, que limita los aportes de los demás socios.

**Tabla 4.2. Resultados de la regresión con interacciones para los aportes a la reserva común. Se incluyen solamente las variables y combinaciones de variables con efecto significativo**

<b>Coefficientes</b>	<b>Estimaciones</b>	<b>Error est.</b>	<b>t de Student</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
TFTs	110,72	43,63	2,54	$11,37 \times 10^{-3}$ *
Gg	6,31	2,93	2,15	$31,54 \times 10^{-3}$ *
TFTs:Gg	-8,02	2,43	-3,3	$10,05 \times 10^{-4}$ **
TFTg:Gg	-15,74	3,49	-4,51	$7,61 \times 10^{-6}$ ***
TFTs:ALLCs	1449,88	352,91	4,11	$4,44 \times 10^{-5}$ ***
TFTs:ALLDs	1011,79	352,91	2,87	$42,65 \times 10^{-4}$ **
ALLDs:ALLCs	-823,58	383,53	-2,15	$32,09 \times 10^{-3}$ *
ALLDs:Gg	-8,93	2,28	-3,91	$1,01 \times 10^{-4}$ ***
TFTg:S	84,49	5,41	15,61	$< 2 \times 10^{-16}$ ***

ALLCg:S	126,65	5,42	23,37	$< 2 \times 10^{-16}$ ***
ALLDg:S	-131,33	5,42	-24,23	$< 2 \times 10^{-16}$ ***
S:Gg	-0,56	0,17	-3,33	$9,11 \times 10^{-4}$ ***
* $< 0,05$ ; ** $< 0,01$ ; *** $< 0,001$				
720 grados de libertad				
Error estándar de los residuos	$R^2$	$R^2$ ajustado	Prueba de Fisher	P
106,8	0,9309	0,9267	220,5	$< 2,2 \times 10^{-16}$
<b>Residuos:</b>				
Min	1Q	Mediana	3Q	Max
-960,32	-44,38	3,92	49,16	380,82

Finalmente, el efecto del tipo de empresa cobra importancia cuando se combina con factores como integrantes recíprocos (TFTg:S), altruistas (ALLCg:S), extractores (ALLDg:S) y conectividad interna (S:Gg). Esto querría decir que los integrantes aportan más a la reserva común en empresas cooperativas que en empresas capitalistas, con excepción de los extractores que no aportan recursos en ninguna circunstancia. Esta sería la razón por la cual los grupos cooperativos con alto porcentaje de integrantes extractores presentan una reducción de aportes. Lo mismo ocurre, en general, con las empresas cooperativas altamente interconectadas.

#### 4.2. Selección grupal

Se identificó un efecto altamente significativo y positivo de la presión selectiva (BC) sobre las reservas comunes (Rf), lo cual es consistente con la hipótesis de la selección grupal (tabla 4.3). Aunque también se observa que la selección neutral presenta el menor crecimiento, en lugar de la condición de menor selección grupal (fig. 4.2).

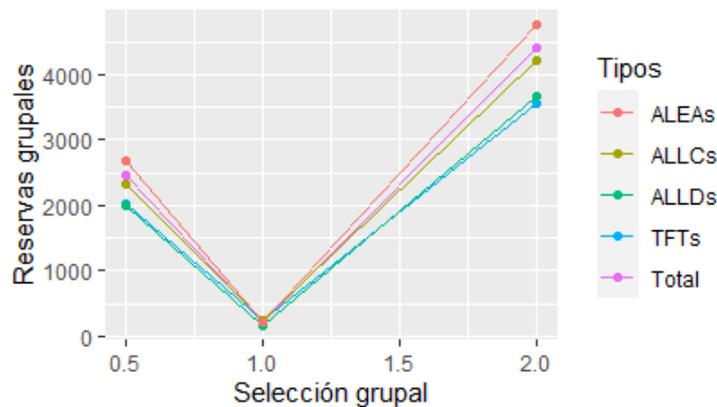
**Tabla 4.3. Resultados de la regresión lineal con la acumulación total de reservas como variable dependiente**

<b>Coefficientes</b>	<b>Estimaciones</b>	<b>Error est.</b>	<b>t de Student</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
Intercepto	342,36	307,38	1,114	0,2657
BC	1714,25	125,39	13,671	< 2e-16***
TFTs	-1107,33	238,73	-4,638	4,14e-06***
TFTg	-560,93	356,39	-1,574	0,1159
ALLDs	-1045,17	238,11	-4,389	1,30e-05***
ALLDg	909,64	356,38	2,552	0,0109*
ALLCs	-350,50	238,11	-1,472	0,1414
ALLCg	-563,92	356,38	-1,582	0,1140
ALEAs	NA	NA	NA	NA
ALEAg	NA	NA	NA	NA
S	-75,13	17,79	-4,222	2,72e-05***
Gg	226,43	15,47	14,636	< 2e-16***
Dg	NA	NA	NA	NA
* < 0,05; ** < 0,01; *** < 0,001; 755 grados de libertad				
Residuos:				
Error estándar de los residuos	$R^2$	$R^2$ ajustado	Prueba de Fisher	p
2163	0,3783	0,3708	51,04	< 2,2e-16
Min	1Q	Mediana	3Q	Max
-5002,9	-1361,4	-88,3	1279,6	11492,9

Se identifican también importantes efectos de los socios extractores (ALLDs) y recíprocos (TFTs). El efecto de la extracción es negativo, según lo esperado; pero lo mismo ocurre con los recíprocos, sin una clara explicación. En contraste, el aumento de integrantes extractores

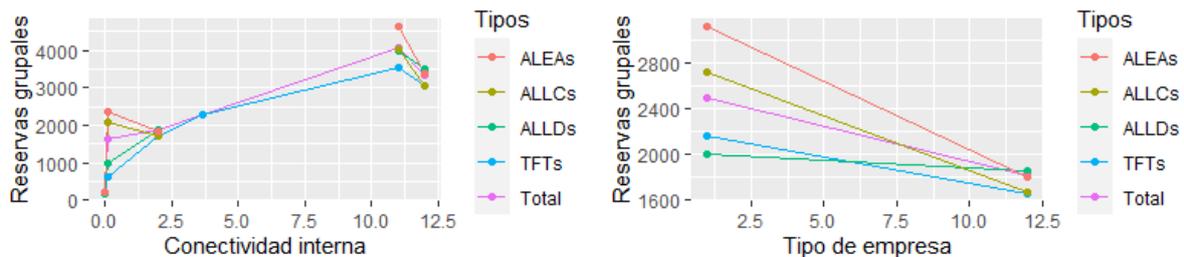
(ALLDg) tiene un efecto positivo y de magnitud similar, aunque con menor significación estadística.

**Figura 4.2. Relación entre reservas grupales acumuladas y presión selectiva entre grupos**



La conectividad interna del grupo ( $G_g$ ) también tiene un efecto positivo, lo cual estaría vinculado con un mayor flujo interno de recursos que favorece su acopio por parte de los socios. Así, con excepción de los extractores, tendrían mayor disponibilidad de recursos para aportar a la reserva común. Sin embargo, se observa poca relación con la composición estratégica de los socios (fig. 4.3 A, tabla 4.3). Por otro lado, el efecto negativo del tipo de empresa ( $S$ ) evidencia que la repartición de recursos entre un mayor número de socios representa una carga importante para los grupos cooperativos (tabla 4.3, fig. 4.3 B).

**Figura 4.3. A: Relación entre reservas grupales acumuladas y conectividad. B: Relación entre reservas grupales acumuladas y tipos de empresas**



Los resultados del modelo con interacciones refuerzan la importancia de la selección grupal, que se mantiene como factor dominante (tabla 4.4). La única relación significativa que no involucra selección grupal es entre integrantes recíprocos y grado de conectividad interna ( $TFTg:G_g$ ). Sin embargo, aunque la fortaleza de la reciprocidad debería emerger en grupos

con mayor interacción, el efecto observado es negativo. Por lo demás, se mantienen los patrones ya mencionados de relaciones entre la selección grupal, el número de socios, la conectividad interna y los tipos de socios.

**Tabla 4.4. Resultados de la regresión con interacciones para la acumulación de reservas grupales. Se incluyen solamente las combinaciones de variables con efecto significativo**

<b>Coefficientes</b>	<b>Estimaciones</b>	<b>Error est.</b>	<b>t de Student</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
BC	1960,81	399,26	4,91	1,12e-06 ***
BC:TFTs	-859,0904	352,5834	-2,437	0,01507 *
BC:TFTg	-1582,8614	526,3666	-3,007	0,00273 **
BC:ALLCg	-1585,8092	526,3423	-3,013	0,00268 **
BC:ALLDs	-758,5019	351,6773	-2,157	0,03135 *
BC:ALLDg	1582,5880	526,3423	3,007	0,00273 **
BC:S	-58,2949	26,2818	-2,218	0,02686 *
BC:Gg	184,2936	22,8490	8,066	3,04e-15 ***
TFTg:Gg	-170,3671	65,1129	-2,616	0,00907 **
* < 0,05; ** < 0,01; *** < 0,001				
720 grados de libertad				
Error estándar de los residuos	$R^2$	$R^2$ ajustado	Prueba de Fisher	P
1992	0,4977	0,467	16,21	< 2,2e-16
<b>Residuos:</b>				
Min	1Q	Mediana	3Q	Max
-6230,5	-1301,9	-28,6	1253,5	8621,2

Se debe tomar en cuenta que estos resultados reflejan el efecto combinado de los tres juegos simultáneos: entre individuos (intragrupa), entre grupos y entre grupos e individuos

(redistribución). Los socios extractores no aportan al grupo, pero promueven su crecimiento al influir en la decisión de extraer recursos de otros grupos. Sin embargo, la extracción constante de reservas grupales tiene mayor peso y, en consecuencia, los grupos con alta proporción de socios extractores tienen menor desempeño que el resto (incluyendo los grupos aleatorios). Por el contrario, los socios donadores aportan constantemente recursos al grupo pero limitan su crecimiento al promover que done recursos a otros grupos. En general, a medida que aumenta la participación de un tipo de estrategia, aumenta también su influencia en las decisiones grupales, por la regla de votación.

## Conclusiones

Al igual que otros modelos ampliamente utilizados, en esta propuesta el comportamiento maximizador del *homo oeconomicus* está representado por la estrategia competitiva (ALLD) que siempre busca extraer beneficios. Al otro extremo están la estrategia cooperativa incondicional (ALLC) que representa un comportamiento puramente altruista y, por supuesto, el *homo reciprocans* está representado por la estrategia ojo-por-ojo (TFT). Las aleatorias (ALEA), con su comportamiento errático, tienen la función de actuar como control y aportar un toque de ruido de fondo.

La principal diferencia radica en la inclusión de agentes colectivos que actúan como un fondo común donde se acumulan los aportes de los socios (agentes con conexión directa) para ser repartidos equitativamente luego de varias rondas. En este sentido se parece a los juegos de bienes públicos, con la diferencia de que el fondo común no se multiplica por un factor conocido y constante antes de la redistribución; sino que puede crecer o decrecer dependiendo del resultado de las interacciones con los demás grupos. Para estos encuentros, las decisiones del grupo o empresa se toman por votación de los socios.

Estas características constituyen una innovación con respecto a los juegos convencionales, que se concentran en evaluar la cooperación y la reciprocidad a nivel individual, usualmente con mecanismos deterministas que asumen poblaciones infinitas (vía ecuación replicadora o similares). De manera que el principal aporte de este estudio es la ampliación del análisis hacia lo colectivo, con juegos simultáneos en dos niveles. De la revisión de literatura realizada se desprende que no existen ejercicios previos similares, en cuanto a la combinación de dinámicas evolutivas y juegos estocásticos simultáneos con población, finita adaptados al marco conceptual de la tensión competencia-cooperación en interacciones económicas.

Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis reciprocidad-cooperativismo, dado que se observa un efecto altamente significativo y favorable de los agentes recíprocos en los aportes a la empresa; mientras que las estrategias extractoras lo perjudican. Sin embargo, en la regresión sencilla las estrategias recíprocas no se distinguen del altruismo puro y todos los tipos de agentes presentan un efecto significativo (tabla 4.1). A primera vista se podría pensar que estos resultados son tautológicos, dado que cada agente está programado para aportar o extraer recursos de acuerdo a su estrategia, indistintamente de su contexto social (estructura organizativa) y económico (nivel de competitividad). No obstante, cuando se consideran las

relaciones entre los factores (tabla 4.2) sobresale únicamente el impacto de los agentes recíprocos, lo cual puede ser un reflejo de su cualidad adaptativa de retribuir la donación o la extracción. También destaca la sinergia entre agentes recíprocos y empresas cooperativas como argumento favorable.

Por otro lado, se observa que los resultados no concuerdan con la regla de reciprocidad directa de Nowak (2006b),  $b/c > w$ , ya que los valores de la matriz de pagos ( $b = 2$  y  $c = 3$  o  $b = 1$  y  $c = 1,5$ ) generan una relación beneficio/costo menor que la probabilidad ( $e_{ij} = w = 1$ ) de los encuentros:  $\frac{1}{1,5} = \frac{2}{3} < 1$ . Sin embargo, dado que se trata de una red fija, se puede interpretar el grado del subgrafo grupal (Gg) como la probabilidad media de encuentro entre todos los agentes. Desde esta perspectiva la regla solo se cumpliría para las configuraciones en estrella y estrella-anillo, con grado promedio de 0 y 1/12 respectivamente.

Lo mismo podría decirse de la regla de viscosidad social de Ohtsuki y colegas (2006),  $b/c > k$ , donde el número de vecinos  $k$  equivale directamente al grado promedio. Sin embargo, esta regla está respaldada por el efecto positivo de la conectividad interna (tabla 4.2), lo cual puede estar vinculado con un mayor flujo interno de recursos, que favorece su acopio por parte de los socios. En consecuencia, se puede decir que tanto la reciprocidad como la viscosidad social fueron catalizadores de la cooperación, independientemente de la razón beneficio/costo que definen las reglas generales de la cooperación en dinámicas evolutivas (Page y Nowak 2002).

La regla de selección grupal ( $b/c > 1/(m + n)$ ) de Traulsen y Nowak (2006) no es aplicable a este modelo, ya que fue desarrollada para una dinámica diferente donde los grupos, en vez de interactuar entre sí, se reproducen al alcanzar cierto límite de crecimiento. Los análisis estadísticos tampoco muestran un efecto directo de la selección grupal sobre la cooperación, entendida como aporte de recursos a la reserva común (tablas 4.1 y 4.2); pero sí aparece como una fuerza importante para su crecimiento (tablas 4.3 y 4.4). Dado que la acumulación de recursos corresponde a la aptitud, estos resultados respaldan la teoría de selección multinivel. Es decir que la cooperación es conveniente en el nivel intragrupos cuando la competencia es más fuerte en el nivel intergrupales porque aumenta la aptitud colectiva, aunque perjudique la aptitud individual (Sloan Wilson y Sober 1998; Sloan Wilson 1998).

Sin embargo, las estrategias recíprocas tienen un efecto negativo en el crecimiento de las reservas grupales y las altruistas no muestran impacto significativo. Esta contradicción podría deberse a la regla de votación, ya que estas estrategias promueven que sus empresas

transfieran recursos a otras. Es decir que tienen un efecto positivo interno por aportación de recursos, pero negativo en el nivel externo por transferirlos a los demás grupos. Lo contrario sucede con las estrategias competitivas, que generan un efecto adverso en el nivel intragrupal (tabla 4.3) pero favorable en el intergrupalo, sobre todo cuando la presión selectiva es mayor (tabla 4.4).

Adicionalmente, la conectividad interna del grupo también tiene un efecto positivo en la aptitud grupal, por sí sola (tabla 4.3) y combinada con la selección grupal (tabla 4.4). Por lo tanto, se podría decir que ocurre una sinergia entre selección multinivel y viscosidad social. Por el contrario, la distancia al grupo tuvo un efecto negativo en los aportes a la reserva común (tabla 4.1), lo cual respalda los principios cooperativos de participación económica y control democrático de los socios (Alianza Cooperativa Internacional 1995), así como la noción de que la cercanía social favorece la cooperación (Sahlins 2017; Graeber 2001).

Por otro lado, el cooperativismo entendido como estructura empresarial (S), no fue relevante en la aportación de recursos y produjo un efecto adverso en la aptitud grupal. Esto significa que la redistribución entre un mayor número de socios representa una carga importante para las empresas cooperativas, lo cual favorece el discurso de que la competitividad y las estructuras verticales (capitalistas) son necesarias para el crecimiento económico. Por supuesto, esto implica una definición de prioridades que no está exenta de una dimensión política. Si se equipara directamente desarrollo con crecimiento económico, de acuerdo a los resultados de la simulación, ciertamente sería más conveniente restringir la distribución de beneficios a un sector minoritario de la población (empresarios o capitalistas). Sin embargo, la propuesta del cooperativismo prioriza la equidad, el bienestar y la democracia sobre el crecimiento económico, de manera que este resultado sería más bien un argumento a su favor.

En definitiva, el modelo propuesto puede ser un punto de partida para formalizar las propuestas de la economía popular y solidaria y el movimiento cooperativo en general; sobre todo porque recoge los conceptos de reciprocidad, redistribución y empresa cooperativa usando teoría de juegos y de grafos. Considerando que la hegemonía de la teoría neoclásica se fundamenta en la fortaleza de sus modelos, es necesario tomar en cuenta la formalización teórica como una estrategia indispensable para respaldar la postura desafiante de que “otra economía” es posible.

Siguiendo la misma línea, sería conveniente (y coherente) para el cooperativismo romper con la tradición de competir con otras escuelas de pensamiento económico y buscar una

“cooperación interdisciplinaria” con la economía del comportamiento, que ya se ha beneficiado del uso de teoría de juegos y de un enfoque empírico. De esta manera ha logrado derribar el supuesto de racionalidad del *homo oeconomicus* y demostrar la importancia de factores como el contexto social y los sesgos cognitivos. A pesar de su juventud y escasez de seguidores, se está posicionando como una de las escuelas de pensamiento económico más prominentes de la actualidad.

Finalmente, se advierte que las conclusiones de este estudio deben considerarse preliminares o hipotéticas mientras no sean contrastadas con datos reales. No se debe perder de vista que las simulaciones son herramientas útiles para probar y ajustar los modelos teóricos previamente a su aplicación. El poder del método científico proviene justamente de un ciclo continuo de observación, planteamiento de hipótesis, comprobación empírica y ajuste. El modelo propuesto es fácilmente adaptable para su aplicación en estudios experimentales y observacionales. Puede servir de base para probar el comportamiento de sujetos reales en laboratorio, con el desarrollo de una interfaz de usuario o de una versión con material concreto (tipo “juego de mesa”).

Adicionalmente, los datos generados por simulación pueden ser reemplazados con información de empresas y economías reales, lo cual sería de gran relevancia considerando la escasez de estudios econométricos existentes para el sector cooperativo (Burdín y Dean 2009; Poledrini 2014). La estructura interna de las empresas y de los encadenamientos productivos (en lugar del subgrafo completo) se ingresarían en la matriz de adyacencia y sus flujos comerciales en la de impactos, de manera similar a las conocidas matrices insumo-producto. De acuerdo al enfoque del estudio, los nodos podrían representar individuos, empresas, sectores o economías regionales (municipios, provincias, países...). Por supuesto, se pueden ajustar los demás parámetros y las estrategias a ser usadas.

Más allá de lo teórico, la aplicación de un enfoque evolutivo y comportamental puede ser de gran utilidad en la práctica. Grupos como el Instituto de la Evolución (Evolution Institute) se dedican específicamente al diseño de políticas sociales con esta perspectiva<sup>1</sup> y ya han demostrado su efectividad en proyectos de desarrollo comunitario y educación inclusiva (Wilson, Kauffman, y Purdy 2011; Wilson 2011; Sloan Wilson, Ostrom, y Cox 2013). Por otro lado, los principios de diseño para la gestión de bienes comunes de Elinor Ostrom (1990,

---

<sup>1</sup> <https://evolution-institute.org/about/what-we-do/>

2010), a pesar de su origen distinto, convergen con los postulados y mecanismos de la teoría de selección multinivel (Sloan Wilson, Ostrom, y Cox 2013) y ciertamente comparten elementos con el cooperativismo. En ambos casos, sus sólidas bases teóricas y empíricas favorecieron el análisis y diseño de estructuras cooperativas (además de su aceptación en círculos académicos).

Al respecto, algunos hallazgos de las simulaciones presentadas pueden ser considerados también para la gestión y creación de empresas cooperativas. Sería recomendable, por ejemplo, prestar atención a los niveles de competitividad (selección multinivel), cooperación entre cooperativas (reciprocidad en el nivel intergrupar), la cohesión interna del grupo (viscosidad social) o acceso a los organismos de gestión y toma de decisiones (distancia social). Se debe notar que varios de estos factores coinciden con los principios cooperativos y los de diseño para la gestión de bienes comunes.

Más que un intento de “absolutizar” al *homo reciprocans*, en reemplazo del *homo oeconomicus*, como diría Coraggio (2014), se trata de una estrategia para debatir los argumentos dominantes de la corriente principal en el ámbito político con fundamentos más robustos.

## Referencias

- Alianza Cooperativa Internacional. 1995. “Declaración de identidad cooperativa”.
- Axelrod, Robert, y William D. Hamilton. 1981. “The evolution of cooperation”. *Science*, new series, 211 (4489).
- Burdín, Gabriel, y Andrés Dean. 2009. “New evidence on wages and employment in worker cooperatives compared with capitalist firms”. *Journal of Comparative Economics* 37: 517–33.
- Caillé, Alain. 2009. “Sobre los conceptos de economía en general y economía solidaria en particular”. En *¿Qué es lo económico? Materiales para un debate necesario contra el fatalismo*, 13–46. Buenos Aires, Argentina: Fundación Centro de Integración, Comunicación, Cultura y Sociedad - CICCUS.
- Caillé, Alain, y Sylvain Dzimira. 2009. “De Marx à Mauss, sans passer par De Maistre ni Maurras”. *La Découverte* 2 (34): 65–95.
- Campbell, John O. 2016. “Universal Darwinism As a Process of Bayesian Inference.” *Frontiers in Systems Neuroscience* 10: 49. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2016.00049>.
- Carranza, César. 2013. “Economía de la reciprocidad: una aproximación a la economía social y solidaria desde el concepto del don”. *Otra Economía* 7 (12): 14–25.
- Chang, Ha-Joon. 2014. *Economics: the user's guide*. London, UK: Penguin.
- Chuong, Edward B. 2013. “Retroviruses Facilitate the Rapid Evolution of the Mammalian Placenta.” *BioEssays : News and Reviews in Molecular, Cellular and Developmental Biology* 35 (10): 853–61. <https://doi.org/10.1002/bies.201300059>.
- Coraggio, José Luis. 2014. “Una lectura de Polanyi desde la economía popular y solidaria en América Latina”. *Cadernos Métopol Sao Paulo* 16 (31): 17–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/2236-9996.2014-3101>.
- Darwin, Charles. (1859) 1997. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. Ed. rev. a partir de la primera. London, UK: Pickering and Chato Publishers.
- . (1871) 2006. *The descent of man and selection in related to sex*. Popular edition, Large Crown 8vo. 2s. 6d. net. U.S.A.: Oxford University Press.
- Dawkins, R. 2006. *The selfish gene*. U.S.A.: Oxford University Press.
- Dohmen, Thomas, Armin Falk, David Huffman, y Uwe Sunde. 2006. “Homo reciprocans: Survey evidence on prevalence, behavior and success”. *Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit, Discussion Paper*, n° 2205.
- . 2009. “Homo reciprocans: survey evidence on behavioural outcomes”. *The Economic Journal* 119 (March): 592–612.
- Dugatkin, Lee Alan. 2007. “Inclusive fitness theory from Darwin to Hamilton”. *Genetics* 176 (3): 1375–80.
- Dunlap, Kathrin A., Massimo Palmarini, Mariana Varela, Robert C. Burghardt, Kanako Hayashi, Jennifer L. Farmer, y Thomas E. Spencer. 2006. “Endogenous Retroviruses Regulate Periimplantation Placental Growth and Differentiation.” *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (39): 14390–95.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0603836103>.
- Elsworthy, Charles. 1993. *Homo biologicus: an evolutionary model for the human sciences*. Berlin: Duncker & Humboldt.
- Fehr, Ernst, y Simon Gächter. 2000. “Fairness and retaliation: the economics of reciprocity”. *Journal of economic perspectives* 14 (3): 159–81.
- Fernández, Nelson, Carlos Maldonado, y Carlos Gershenson. 2014. “Information measures of complexity, emergence, self-organization, homeostasis and autopoiesis”. En *Guided self organization: Inception*, 19–51. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fischer, Eric A. 1988. “Simultaneous hermaphroditism, tit-for-tat, and the evolutionary stability of social systems”. *Ethology and Sociobiology* 9 (2–4): 119–36.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0162-3095\(88\)90017-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0162-3095(88)90017-9).
- Forsythe, Paul, Nobuyuki Sudo, Timothy Dinan, Valerie Taylor, y John Bienenstock. 2010. “Mood and gut feelings”. *Brain, Behavior and Immunity* 24 (1): 9–16.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbi.2009.05.058>.
- Fotouhi, Babak, Naghmeh Momeni, Benjamin Allen, y Martin A. Nowak. 2018. “Conjoining uncooperative societies facilitates evolution of cooperation”. *Nature Human Behaviour* 2 (7): 492–99. <https://doi.org/10.1038/s41562-018-0368-6>.
- Fraser, Nancy. 2017. “Why two Karls are better than one: integrating Polanyi and Marx in a critical theory of the current crisis”. *DFG-Kollegforscher innengruppe, Postwachstumsgesellschaften*.
- Gandolfo, Giancarlo. 2008. “Giuseppe Palomba and the Lotka-Volterra equations”. *RENDICONTI LINCEI* 19 (4): 347–57. <https://doi.org/10.1007/s12210-008-0023-7>.
- Gershenson, Carlos. 2014. “Requisite variety, autopoiesis, and self-organization”. *arXiv preprint* 1409.7475.
- Goodwin, Richard M. 1987. “The economy as an evolutionary pulsator”. En *The Long-Wave debate*. Berlin: Springer.
- Graeber, David. 2001. *Toward an anthropological theory of value: the false coin of our own dreams*. New York, USA: Palgrave.
- Gray, Michael W. 2010. “Lynn Margulis and the endosymbiont hypothesis: 50 years later”. Editado por Keith G. Kozminski. *Molecular Biology of the Cell* 28 (10): 1285–87.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1091/mbc.e16-07-0509>.
- Haldane, John B.S. 1955. “Population genetics”. *New Biology*, nº 18: 34–51.
- Hamilton, William D. 1964. “The genetical evolution of social behaviour II”. *Journal of Theoretical Biology* 7: 17–52.
- Harman, Oren. 2010. *The price of altruism*. U.S.A.: W.W.Norton.
- Harper, Marc. 2009. “The replicator equation as an inference dynamic”. *Cornell University eprint*. <https://arxiv.org/abs/0911.1763>.
- Harris, J. Robin. 1998. “Placental Endogenous Retrovirus (ERV): Structural, Functional, and Evolutionary Significance.” *BioEssays: News and Reviews in Molecular, Cellular and Developmental Biology* 20 (4): 307–16. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-1878\(199804\)20:4<307::AID-BIES7>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-1878(199804)20:4<307::AID-BIES7>3.0.CO;2-M).

- Harte, John, y Erica A. Newman. 2014. "Maximum information entropy: a foundation for ecological theory". *Trends in Ecology & Evolution* 29 (7): 384–89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.04.009>.
- Hofbauer, Josef. 1981. "On the occurrence of limit cycles in the Lotka-Volterra equation". *Nonlinear Analysis, Theory, Methods and Applications* 5 (9): 1003–7.
- Hofbauer, Josef, y Karl Sigmund. 1998. *Evolutionary games and population dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hutchinson, George Evelyn. 1965. *The ecological theater and the evolutionary play*. U.S.A.: Yale University Press.
- International Cooperative Alliance, y Euricse. 2019. "The 2019 world cooperative monitor, exploring the cooperative economy".
- Ji, Minsun. 2019. "With or without class: Resolving Marx's Janus-faced interpretation of worker-owned cooperatives". *Capital & Class* 44 (3): 345–69. <https://doi.org/10.1177/0309816819852757>.
- Jossa, Bruno. 2005. "Marx, Marxism and the cooperative movement". *Cambridge Journal of Economics* 29: 3–18. <https://doi.org/10.1093/cje/bei012>.
- Krama, Tatjana, Jolanta Vrublevska, Todd M. Freeberg, Cecilia Kullberg, Markus J. Rantala, y Indrikis Krams. 2012. "You mob my owl, I'll mob yours: birds play tit-for-tat game". *Scientific Reports* 2 (1): 800. <https://doi.org/10.1038/srep00800>.
- Laville, Jean-Louis. 2009a. "Con Mauss y Polanyi, hacia una teoría de la economía plural". En *¿Qué es lo económico?: Materiales para un debate necesario contra el fatalismo*. Buenos Aires, Argentina: Fundación Centro de Integración, Comunicación, Cultura y Sociedad - CICCUS.
- . 2009b. "Definiciones e instituciones de la economía". En *¿Qué es lo económico?: Materiales para un debate necesario contra el fatalismo*, 47–71. Buenos Aires, Argentina: Fundación Centro de Integración, Comunicación, Cultura y Sociedad - CICCUS.
- Lewontin, Richard C. 1961. "Evolution and the theory of games". *Journal of Theoretical Biology* 1 (3): 382–403.
- Lotka, Alfred J. 1920. "Analytical Note on Certain Rhythmic Relations in Organic Systems". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 6 (7): 410–15.
- Malinowsky, Bronislaw. 2002. *Argonauts of the Western Pacific: an account of native enterprise and adventure in the archipelagoes of Melanesian New Guinea*. 9th ed. London, UK: Routledge.
- Mauss, Marcel. 1924. *Essai sur le don. Forme et raison de l'échange dans les sociétés primitives*.
- Milinski, Manfred. 1987. "TIT FOR TAT in sticklebacks and the evolution of cooperation": *Nature* 325 (6103): 433–35.
- Nikolova, Viktoriya, Syed Yawar Zaidi, Allan H. Young, Anthony J. Cleare, y James M. Stone. 2019. "Gut feeling: randomized controlled trials of probiotics for the treatment of clinical depression: Systematic review and meta-analysis". *Therapeutic Advances in Psychopharmacology* 9: 2045125319859963. <https://doi.org/10.1177/2045125319859963>.

- Nowak, Martin A. 1990. “Stochastic strategies in the prisoners’ dilemma”. *Theor. Popul. Biol.* 38: 93–112.
- . 2006a. *Evolutionary dynamics: exploring the equations of life*. Canadá: Harvard University Press.
- . 2006b. “Five Rules for the Evolution of Cooperation”. *Science* 314 (5805): 1560. <https://doi.org/10.1126/science.1133755>.
- Nowak, Martin A., y Roger Highfield. 2011. *Supercooperators: altruism, evolution and why we need each other to survive*. U.S.A.: Free Press.
- Nowak, Martin A., y K. Sigmund. 1989a. “Oscillations in the evolution of reciprocity”. *Journal of Theoretical Biology* 137: 21–26.
- . 1990. “The evolution of stochastic strategies in the prisoner’s dilemma”. *Acta Appl. Math.* 20: 247–65.
- Nowak, Martin A., y Karl Sigmund. 1989b. “Game-dynamical aspects of the prisoner’s dilemma”. *Appl. Math. Comp.* 30: 191–213.
- O’Boyle, Edward J. 2007. “Requiem for homo oeconomicus”. *Journal of Markets & Morality* 10 (2): 321–37.
- Ohtsuki, Hisashi, Christoph Hauert, Erez Lieberman, y Martin A. Nowak. 2006. “A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks”. *Nature* 441 (7092): 502–5. <https://doi.org/10.1038/nature04605>.
- Ostrom, Elinor. 1990. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- . 2010. “Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change”. *Global Environmental Change* 20: 550–57.
- Page, Karen, y Martin Nowak. 2002. “Unifying evolutionary dynamics”. *Journal of Theoretical Biology* 219: 93–98.
- Polanyi, Karl. 1976. “El sistema económico como proceso institucionalizado”. En *Antropología y economía*. Barcelona: Editorial Anagrama.
- . 2001. *The great transformation, the political and economic origins of our time*. Second edition. Boston, USA: Beacon Press.
- Poledrini, Simon. 2014. “Unconditional reciprocity and the case of Italian social cooperatives”. *Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly* 44 (3): 457–73.
- Prattis, J. I. 1982. “Synthesis, or a New Problematic in Economic Anthropology”. *Theory and Society* 11 (2): 205–28.
- Price, George. 1970. “Selection and Covariance”. *Nature* 227 (5257): 520–21. <https://doi.org/10.1038/227520a0>.
- . 1971. “Extension of Hardy-Weinberg to assortative mating”. *Ann. Hum. Genet.* 34: 466.
- . 1972. “Extension of covariance selection mathematics”. *Ann. Hum. Genet.* 35: 485. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1957.tb01874.x>.
- Sahlins, Marshall D. 2017. *Stone age economics*. New York, USA: Routledge.
- Servet, Jean-Michel. 2007. “Le principe de réciprocité chez Karl Polanyi, contribution à une

- définition de l'économie solidaire". *Revue Tiers Monde* 2 (190): 255–73.
- Simpson, Carra A., Andre Mu, Nick Haslam, Orli S. Schwartz, y Julian G. Simmons. 2020. "Feeling down? A systematic review of the gut microbiota in anxiety/depression and irritable bowel syndrome". *Journal of Affective Disorders* 266: 429–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.01.124>.
- Sloan Wilson, David. 1998. "Levels of selection: an alternative to individualism in biology and the human sciences". *Social Networks* 11: 257–72. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0378-8733\(89\)90005-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0378-8733(89)90005-1).
- . 2007. *Evolution for everyone: how Darwin's theory can change the way we think about our lives*. Delta.
- Sloan Wilson, David, Elinor Ostrom, y Michael Cox. 2013. "Generalizing the design principles for improving the efficacy of groups". *Journal of Economic Behavior & Organization* 90 (Supplement): 21–32.
- Sloan Wilson, David, y Elliot Sober. 1998. *Unto others: the evolution and psychology of unself behavior*. U.S.A.: Harvard university Press.
- Smith, Maynard. 1974. "The theory of games and the evolution of animal conflict". *Journal of Theoretical Biology* 47: 209–21.
- Smith, Maynard, y George Price. 1973. "The Logic of Animal Conflict". *Nature* 246 (5427): 15–18. <https://doi.org/10.1038/246015a0>.
- Staňková, Kateřina, Joel S. Brown, William S. Dalton, y Robert A. Gatenby. 2019. "Optimizing Cancer Treatment Using Game Theory: A Review". *JAMA Oncology* 5 (1): 96–103. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2018.3395>.
- Swierniak, Andrzej, y Michal Krzeslak. 2013. "Application of evolutionary games to modeling carcinogenesis". *Mathematical Biosciences & Engineering* 10 (3): 873–911. <https://doi.org/10.3934/mbe.2013.10.873>.
- Taylor, Peter D., y Leo B. Jonker. 1978. "Evolutionarily stable strategies and game dynamics". *Mathematical Biosciences* 40: 145–56.
- Thaler, Richard H. 2000. "From homo oeconomicus to homo sapiens". *Journal of economic perspectives* 14 (1): 133–41.
- Traulsen, Arne, y Martin A. Nowak. 2006. "Evolution of cooperation by multilevel selection". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (29): 10952. <https://doi.org/10.1073/pnas.0602530103>.
- Volterra, Vito. 1926. "Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi". *Memoria della Reale Accademia Nazionale dei Lincei* 2: 31–113.
- Wedekind, Claus, y Manfred Milinski. 1996. "Human cooperation in the simultaneous and the alternating Prisoner's Dilemma: Pavlov versus Generous Tit-for-Tat". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93 (7): 2686. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.7.2686>.
- Weiner, Annette B. 1992. *Inalienable possessions: the paradox of keeping while giving*. U.S.A.: University of California Press.
- Wilson, David Sloan. 2011. *The Neighborhood Project: using evolution to improve my city, one block at a time*. New York, USA: Little, Brown.

- Wilson, David Sloan, R.A. Kauffman, y M.S. Purdy. 2011. "A program for at-risk high school students informed by evolutionary science". *PLoS ONE* 6 (11): e27826.
- Yoeli, Erez, Moshe Hoffman, David G. Rand, y Martin A. Nowak. 2013. "Powering up with indirect reciprocity in a large-scale field experiment". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (Supplement 2): 10424.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1301210110>.
- Zenz, Adrian. 2006. "Formalism, substantivism and culturalism". En *Key debates in economic anthropology*. Vol. 26.