JUEGOS METAMIMÉTICOS, CAOS Y COOPERACIÓN

Carlos Pelta Resano
Departamento de Psicología Básica Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

Los juegos metamiméticos (Chavalarias, 2006) constituyen un fascinante ejemplo de diseño de un sistema computacional auto-configurable que hace uso de conceptos basados en la teoría de sistemas complejos, como, por ejemplo, el de atractor metamimético. La característica peculiar de tales juegos es que manejan reglas metamiméticas, esto es, reglas de imitación que se actualizan constantemente a sí mismas desde el meta-nivel. Dichas reglas aúnan tres "desiderata" básicos en la Neurociencia de hoy: el carácter metacognitivo, la reflexividad y la capacidad para imitar (Iacoboni, 2008). En este artículo demostraremos que la introducción de reglas de imitación, siguiendo la metodología de (Chavalarias y Bourgine, 2003), anula la existencia de regímenes caóticos en un juego espacial del prisionero.

INTRODUCCIÓN A LOS JUEGOS METAMIMÉTICOS

Muy recientemente, Chavalarias (2006) ha diseñado un tipo de simulación computacional, conocida como juegos metamiméticos que, conceptualmente, se mueve en el seno de la teoría de los sistemas dinámicos no lineales pero que aporta mucho más. Reúne aquellas características que la Psicología Cognitiva y la Neurociencia contemporáneas han subrayado como centrales en el proceso cognitivo humano: toma de decisiones, reactualizadas constantemente en el meta-nivel, reflexividad y capacidad de imitación.

Los juegos metamiméticos son sistemas multi-agente (Wooldridge, 2002), que muestran una interesante conducta adaptativa, basándose en mecanismos reflexivos y metacognitivos de reactualización de reglas imitativas: por otro lado, permiten endogenizar reglas y no depender del capricho de reglas establecidas a priori y externamente por el diseñador del juego. Desde el punto de vista de la matemática no lineal, estos juegos introducen conceptos muy sugerentes como los de atractor metamimético o estabilidad contrafáctica.

Los juegos metamiméticos son un excelente banco de pruebas para analizar cuestiones muy interesantes de la Psicología Social: pensemos en agentes definidos por una serie de rasgos (conducta, reglas de conducta, reputación, posición social, prestigio...) e inmersos en una red social en la que pueden observar algunos de los rasgos de los agentes con los que interactúan (Chavalarias, 2006). Los agentes pueden categorizar los rasgos de otros agentes de su entorno. La imitación ocurrirá cuando un agente decida adoptar un rasgo que haya observado en alguno de sus vecinos. Surgen así reglas de imitación, o procesos que toman como elementos de entrada un agente y su entorno y como elemento de salida algún rasgo modificable (un rasgo que un agente pueda cambiar "voluntariamente"); el agente intentará copiar dicho rasgo de alguno de sus vecinos.

Lo verdaderamente interesante del enfoque de Chavalarias es que introduce en el proceso de modelización la actividad metacognitiva, en general, y la reflexividad, en particular. Al aplicarse estos aspectos a las reglas de imitación, dichas reglas pueden verse como parte de la estrategia del agente y se convierten en rasgos modificables: las reglas de imitación son rasgos modificables por uso de meta-reglas (Chavalarias, 2006). De esta manera, es factible considerar dinámicas en poblaciones de agentes, descritos éstos a partir de cadenas de reglas de imitación y definiendo un orden total reflexivo sobre el conjunto de reglas. Estas cadenas serán llamadas cadenas metamiméticas y podrán tratar con un número máximo de meta-niveles.

En consecuencia, en un juego metamimético se introducirá “metacognición”, puesto que en todos los niveles en una cadena metamimética, las reglas de imitación son rasgos modificables. También habrá racionalidad limitada, ya que el número de meta-niveles en las cadenas metamiméticas será finito y limitado por su límite cognitivo para cada agente. La reflexividad aparecerá debido a que las reglas de imitación pueden actualizarse a sí mismas, alterándose la longitud de la cadena metamimética en el límite del tope cognitivo de los agentes. Cuando el límite cognitivo es alcanzado, se produce la actualización reflexiva de las reglas (Chavalarias, 2006).

Como fácilmente comprenderá el lector, incluir la reflexividad y la metacognición para modelar sistemas sociales, da cabida al hecho de que los seres humanos bastantes veces conocemos que empleamos reglas para tomar decisiones y que podemos monitorizar su uso. Pero a diferencia de otros modelos computacionales de imitación, en los juegos metamiméticos los agentes no sólo imitan de acuerdo a sus preferencias sino que también forman sus preferencias a través de la imitación. Por lo tanto, en estos juegos el objetivo principal no es la búsqueda de la mejor estrategia, sino la búsqueda de aquellos estados tales que las posiciones (sociales) de los agentes sean máximamente coherentes desde su propio punto de vista.

Definamos un agente (Chavalarias, 2006) como una n-tupla ρ de rasgos tomados de un conjunto multi-dimensional de rasgos R. Estos rasgos admitirán ser divididos en dos categorías: modificables (M) y no dependientes enteramente de la voluntad del agente (N). Los rasgos de tipo (M) son aquellos que un agente puede cambiar a voluntad. Pensemos, por ejemplo, en el tipo de ropa que un individuo va a usar. Los rasgos de tipo (N) pueden llegar a ser inmutables, suelen depender de dinámicas globales y cambian en largos periodos de tiempo. Ejemplos no sólo serían rasgos físicos sino, por enfocarlo desde el punto de vista social, aspectos tales como el prestigio o la reputación. Para un agente dado A, la vecindad $\square_A$ se definirá como el conjunto de todos los agentes de los que A puede aprender algunos rasgos.

La imitación ocurre cuando un agente decide adoptar un rasgo que ha observado en alguno de sus vecinos. Nosotros plantearemos aquí una perspectiva de la imitación en consonancia con la idea de imitación lógica de Tarde (1890); esto es, se trataría de un proceso “consciente” por el que el agente A imitaría al B en función de alguna interdependencia con respecto a los criterios de B, por ejemplo, porque B se le presenta a A como más exitoso en función de algún criterio. Desde un punto de vista formal, una regla de imitación se define así (Chavalarias, 2006):

Dado un agente A y su vecindad $\square_A$, una regla de imitación es un proceso que (a) asigna un valor $\nu(B,\square_A)$, perteneciente al conjunto de los números reales, a cada agente B en $\square_A$ (ν será una función de valuación) y (b) selecciona algunos rasgos que han de ser copiados con los valores más altos asignados por la función ν y define el proceso de copia.

Para que las reglas de imitación sean modificables habrá que aplicar meta-reglas y, por lo tanto, ir forjando jerarquías de reglas (en consonancia con la diversidad de niveles existentes en el estudio de la metacognición). Así pues, consideremos el conjunto de todas las reglas que un agente está usando y definamos una relación $\mathcal{R}$ tal que siendo r_1 y r_2 dos reglas usadas por el agente A, $r_2\mathcal{R}r_1$ si el uso de r_2 puede cambiar el modo en que A usa r_1. $\mathcal{R}$ define un orden parcial que permite establecer una jerarquía de reglas que actúan las unas sobre las otras. Tal jerarquía de reglas será llamada cadena metamimética (Chavalarias, 2006). Un rasgo modificable será asociado a una cadena de reglas de imitación que controla su evolución.

Las cadenas metamiméticas habrán de ser finitas puesto que, tomando como referencia a los agentes humanos, nuestra racionalidad es limitada. Llamaremos límite cognitivo de los agentes (c_B) a la longitud máxima de tales cadenas. Las reglas situadas en el nivel superior son rasgos modificables, es decir, los agentes pueden actuar sobre ellas, De esta manera, cuando una regla r está en el nivel superior de una cadena metamimética de reglas, sucederá que $r\mathcal{R}r$ ($\mathcal{R}$ será pues una relación reflexiva).

Consideremos una población de agentes definidos por cadenas metamiméticas que dispongan de un número máximo de meta-niveles. Los agentes han de escoger una conducta r_0 entre varias posibilidades. Dicha conducta ejerce algún impacto sobre su entorno, por ejemplo, en las densidades de los diferentes tipos de conductas en su vecindad o en sus propias ganancias.

Definiremos los agentes mediante un conjunto de rasgos modificables ($r_0,r_1,...,r_n$), a través de la constricción $n \leq c_B$, donde r_0 es una conducta y $r_j \in R$ para $j>0$. Representemos mediante la siguiente figura esta situación (Chavalarias, 2006, 6):

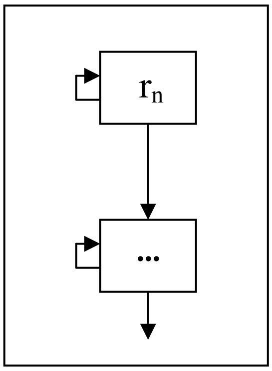

Figura 1

Según el autor, la actividad de un agente consistirá en el examen de la coherencia de su jerarquía de reglas, centrando su atención sobre diferentes niveles en distintos momentos. Y así, cuando el agente focaliza su atención en un nivel k, dado que para $j \leq k$, $r_k\mathcal{R}r_j$, y siendo $\mathcal{R}$ reflexiva, la cuestión a plantear será si la estrategia ($r_0,r_1,...,r_k$) será la mejor desde el punto de vista de r_k. De no ser así, el agente intentará cambiar su estrategia, buscando una mejor: o bien, algunos elementos en ($r_0,r_1,...r_{k-1}$) serán modificados, permaneciendo todavía la regla inicial r_k como parte de la estrategia, o r_k será modificada. El modo más directo de activar una regla en el nivel n consiste en cambiar el rasgo del nivel inferior.

Los agentes pueden monitorizar la complejidad de su estrategia adaptando la composición y la longitud de sus cadenas metamiméticas. Procedamos a definir formalmente un juego metamimético: sea B un conjunto de conductas, □ la vecindad de un agente, R un conjunto de reglas de imitación, C_B el límite cognitivo del agente y N el número de jugadores del juego. Un juego metamimético $J=\{N,□,R,B,C_B\}$ es un juego de N jugadores en el que cada agente A es caracterizado por una cadena metamimética $s_A=(r_0,r_1,...,r_k)$, con $r_0 \in B$ y $r_j \in R$ para $j>0$ (Chavalarias, 2006, 10). Las tres siguientes condiciones han de ser satisfechas:

(C1) Metacognición: las reglas de imitación son rasgos modificables en todos los niveles de una cadena metamimética.

(C2) Reflexividad: las reglas de imitación pueden actualizarse de una manera reflexiva, cambiando la longitud de la cadena metamimética en el tope del límite cognitivo de los agentes. Cuando el límite cognitivo es alcanzado, las reglas de imitación pueden actualizarse a sí mismas.

(C3) Racionalidad limitada: el número k de meta-niveles en las cadenas metamiméticas es finito y restringido para cada agente por su límite cognitivo C_B ($k \leq C_B$).

UN EJEMPLO DE JUEGO METAMIMÉTICO SIMPLE BASADO EN EL DILEMA DEL PRISIONERO

En la página 10 de Chavalarias (2006), es introducido un caso de juego metamimético muy básico y cuyo punto de partida es el dilema del prisionero (Axelrod, 1984). El dilema presenta a dos jugadores que pueden cooperar (C) o cometer defección (D). Si ambos cooperan reciben *R* como pago y *P* en caso de que mutuamente se defrauden. En el caso de que sus estrategias sean diferentes, el que coopera recibe un pago *S* y el que decepciona recibe un pago *T*. El valor de los pagos es ordenado de la siguiente manera:

$T > R > P > S$, es decir, realizar defección siempre es más ventajoso desde una perspectiva individual, pero, colectivamente, la mutua cooperación es lo mejor que se puede hacer (ya que $T + S < 2 \bullet R$). El dilema consiste en que si la conducta "racional" ha de basarse en maximizar las ganancias, lo "racional" por parte de los agentes es comportarse cometiendo defección. Y, sin embargo, la cooperación mutua permite obtener un rendimiento superior que la decepción mutua que es a lo que los jugadores parecerían abocados una y otra vez siguiendo la "racionalidad" de una estrategia egoísta.

Sean dos agentes A y B con un límite cognitivo de 1 y sin memoria. Cada agente está en la vecindad de otro y puede escoger entre la acción de cooperar (C) y la de cometer defección (D). A su vez, y por lo que concierne a su conducta imitativa, puede elegir entre una conducta maximizadora (maxi) o de imitación de los vecinos que obtengan mayores ganancias y una conducta conformista (conf) o de imitación del comportamiento mayoritario entre sus agentes vecinos. La conducta (D) siempre aporta mayores ganancias que la conducta (C), el juego se juega de manera repetida y los agentes cambian su estrategia de forma simultánea de acuerdo con su propia regla. La definición de las reglas es la que sigue:

- Maxi: si el agente vecino obtiene mayores pagos o rendimientos, copia su regla y úsala, actualizando tu conducta.
- Conf: si tu estrategia es diferente de la del agente vecino, copia su regla y úsala para cambiar tu conducta, actualizándola.

El estado del juego es dado por la conducta y la regla de imitación de cada agente. Así, por ejemplo, y para "s" expresando dicho estado, s=[s_A:(C, maxi); s_B: (D, conf)]. En este juego tan simple sólo hay los 16 siguientes estados posibles: [(C, conf);(D, conf)]/[(D, conf); (C, conf)]/[(C, conf); (C, conf)]/[(D, conf); (D, conf)]/[(C, maxi); (D, maxi)]/[(D, maxi); (D, maxi)]/[(C, maxi); (C, maxi)]/[(C, maxi); (C, conf)]/[(C, conf); (C, maxi)]/[(D, maxi); (C, conf)]/[(D, maxi); (D, conf)]/[(D, conf); (D, maxi)]/[(C, conf); (D, maxi)]/[(D, maxi); (C, maxi)]/[(D, conf), (C, maxi)]/[(C, maxi); (D, conf)]. Por ejemplo, si el estado inicial es s=[s_A:(C, maxi); s_B:(D, conf)], después de un periodo, A se convertirá en un agente conformista porque su vecino B es el agente más exitoso y, a su vez, cambiará su conducta (C) por la conducta (D), con la finalidad de seguir la conducta de B. En cambio, el agente B adoptará la conducta maxi para asemejarse al agente A y seguirá jugando (D), puesto que ésta es el tipo de acción más rentable.

En una segunda ronda, ambos agentes tendrán la misma conducta y, en consecuencia, los mismos pagos. Sólo el agente A cambiará su estrategia para ser como el agente B y los dos finalizarán con la estrategia (D, maxi). El estado final del juego será s´´=[(D, maxi); (D, maxi)]: s´´ será alcanzable desde los estados s=[(C, maxi);(D, conf)] y s´=[(D, conf); (D, maxi)]. De manera más general, un estado s´ es alcanzable a partir de un estado s, si y sólo si un sistema que empiece en el estado s puede alcanzar el estado s´ después de un número finito de transiciones miméticas (Chavalarias, 2006, 16).

ATRACTORES Y EQUILIBRIO EN JUEGOS METAMIMÉTICOS

Los juegos metamiméticos son un claro ejemplo de uso de conceptos propios de la Dinámica no lineal. Los estados o patrones de cambio de un sistema dinámico se conocen como atractores. Además de implicar la convergencia de la dinámica sobre un pequeño conjunto de estados, la presencia de un atractor implica la resistencia del sistema a las perturbaciones externas. Cuando un sistema está en su atractor, tiende a mantener aquel estado a pesar de las influencias que tengan el potencial para desestabilizarlo.

Sea un juego metamimético J={N, □,R,B,C_B}, en el que C_B=1 y sea Ω el conjunto de todos los estados posibles del juego. Un conjunto de estados $\Sigma=(s^1,...,s^m)$ es un atractor metamimético si y sólo si para todo $(s,s')\in\Omega\times\Sigma$, s´es alcanzable desde $s\Leftrightarrow s'\in\Sigma$. Un estado $s=(s_1,...,s_n)$ es un equilibrio metamimético si y sólo si {s} es un atractor metamimético. Para C_B=1, para todo i∈{1,...,N} y k∈□$_i$, $s_i=(r^i{}_0,r^i{}_1)\neq s_j=(r^j{}_0,r^j{}_1)\Rightarrow v^i(j,□_i)\leq v^i(i,□_i)$, siendo v^i la función de valuación asociada con la regla de imitación $r^i{}_1$. El valor $v_i(j,□_i)$ puede entenderse en un sentido contrafáctico, como expresando el mejor estado que un agente puede imaginar si estuviera en el lugar de uno de sus agentes vecinos. En este sentido, un equilibrio metamimético será denominado estado contrafácticamente estable (Chavalarias, 2006, 18). La idea de estabilidad contrafáctica nos vuelve a remitir al carácter endógeno de las dinámicas definidas para juegos metamiméticos. En realidad, su dinámica se define como una cadena de Markov sobre el conjunto de estragias consideradas y no como una dinámica impuesta externamente como, por ejemplo, una dinámica de replicadores aplicada a un conjunto de estrategias.

Una cadena de Markov representa un sistema que varía su estado a lo largo del tiempo, siendo cada cambio una transición del sistema. Tales cambios no están predeterminados, aunque sí lo está la probabilidad del próximo estado en función de los estados anteriores, probabilidad que es constante en el decurso temporal. Una ley de probabilidad condicional define la probabilidad del nuevo estado en función de los anteriores. Pero en los juegos metamiméticos, la razón de ser de una transición de un estado s a un estado s´, se encuentra en el propio estado s puesto que es la expresión del contenido de las reglas de imitación. Las metas de los agentes son escogidas por ellos mismos a través de sus interacciones con otros agentes y no son una propiedad inalterable que haya sido impuesta desde fuera.

Todo juego metamimético J={N, □ ,R,B,C_B} puede asociarse a una única matriz P^0, que determina el proceso de Markov que representa la dinámica interna del juego (Chavalarias, 2006). De esta manera puede decirse que P^0 define la metadinámica del proceso de cognición social.

DILEMA DEL PRISIONERO Y CAOS ESPACIAL

Nowak y May (1992) presentan una versión espacial y puramente determinista del dilema del prisionero, que genera patrones caóticos en los que cooperadores y defraudadores persisten de manera indefinida en proporciones que fluctúan y que son predecibles a largo plazo.

Dos tipos de agentes sin memoria, aquellos que siempre cooperan (C) y aquellos que siempre perpetran defección (D) son situados en un retículo bidimensional de n×n compartimentos. En cada ronda del juego, cada jugador juega con sus inmediatos ocho vecinos. Cada jugador obtiene una ganancia que es la suma de los pagos que se han ido produciendo en sus encuentros con sus vecinos. Al inicio de cada ronda, cada celdilla es ocupada por el jugador con el rendimiento superior entre el propietario previo y los inmediatos vecinos. Los pagos de la matriz del dilema son los siguientes: R=1, T=b(b>1), S=P=0; cuando ambos agentes cooperan obtienen 1, si ambos cometen defección, entonces consiguen 0, mientras que la defección de uno de ellos se paga con un valor b que excede a la unidad, frente al agente cooperador que obtiene 0.

Nowak y May (1992, 826) exploran la conducta asintótica de este sistema para diversos valores de b y con diferentes proporciones de agentes cooperadores y que practican la defección, distribuidos aleatoriamente al comienzo del juego sobre un retículo de n × n celdillas (n=20 y más). Pero lo que a nosotros nos interesa en este estudio es que para $2 > b > 1,8$, los "clusters" formados por agentes cooperadores C pueden crecer en zonas ocupadas por individuos que practican la defección y viceversa, conformándose un régimen caótico de variación espacial en el que los agentes C y D persisten en patrones que se van alternando. En cualquier caso, la fracción global asintótica de sitios ocupados por los individuos cooperadores C fluctúa en torno a 0,318 para casi todas las proporciones iniciales de agentes y para casi todas las configuraciones. A continuación mostramos el patrón de caos espacial dinámico tal y como aparece en Nowak y May (1993, 43):

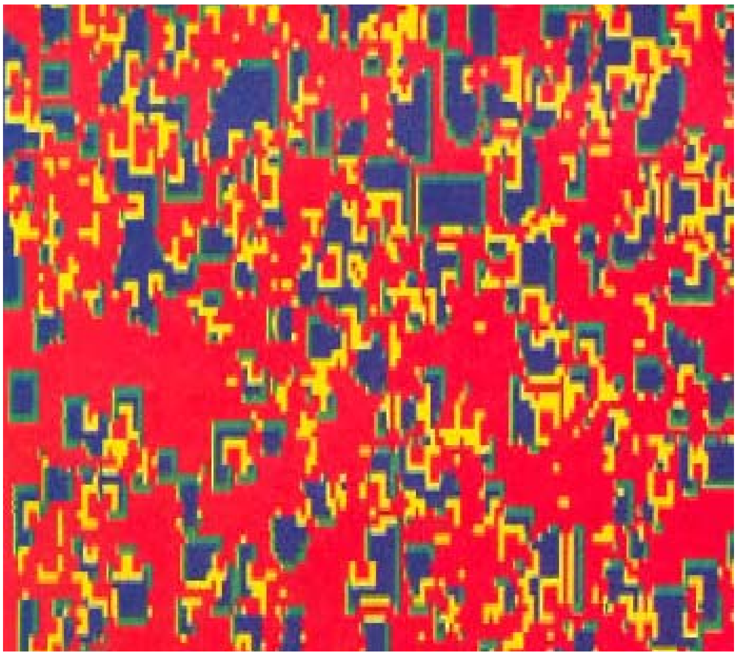

Figura 2

El color azul representa a agentes cooperadores que ya lo eran en la generación precedente, mientras que el rojo establece la existencia de individuos que practican la defección después de haberla practicado en la generación anterior. El color amarillo es indicativo de agentes que han ejercido la defección después de haber sido cooperadores y el color verde refleja la conducta contraria. La alta proporción de los colores verde y amarillo expresa que se producen muchos cambios de una generación a la siguiente, coexistiendo indefinidamente agentes cooperadores y no colaboradores en un estado caótico de alternancia. Esto sucede para casi todas las condiciones iniciales de partida, empezando con un 90% de agentes cooperadores.

La frecuencia de individuos cooperadores en el fractal dinámico generado por un agente D que invade una colección infinita de agentes C, se puede observar en la figura 3 (Nowak y May, 1993, 827). La frecuencia de los individuos cooperadores es una función de la generación t: esta curva tiene interesantes propiedades a partir de la geometría de la estructura del espacio ocupado por los agentes que practican la defección. De manera aproximada, y para l pasos temporales entre t y 2t, habrá $4(2l)(2t+1-2l)$ lugares de cooperadores dentro de la estructura de tamaño $(2t+1+2l)^2$ de individuos D. En consecuencia, la fracción asintótica de agentes C para tales patrones simétricos muy grandes será de 12log2-8, esto es, de 0,318..., como ya se mencionó arriba.

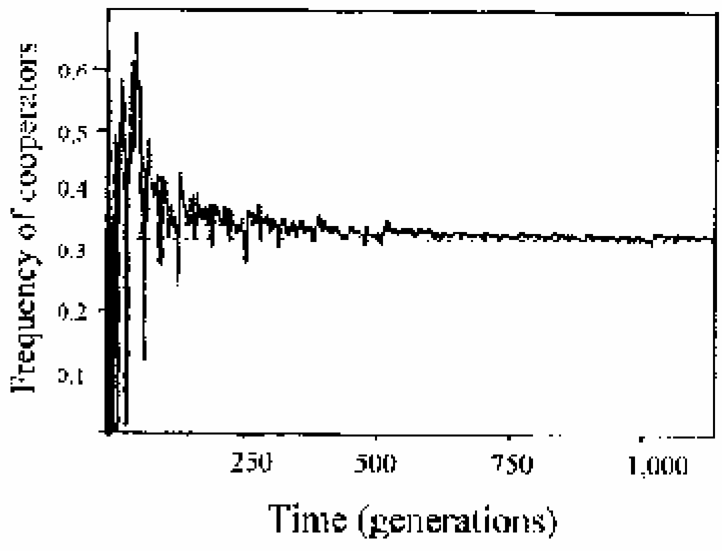

Figura 3

JUEGOS METAMIMÉTICOS, CAOS ESPACIAL Y COOPERACIÓN

Basándonos en la metodología seguida por Chavalarias y Bourgine (2003), diseñamos un juego metamimético fundamentado en el juego espacial del prisionero de Nowak y May (1992).

Nuestra simulación consistirá en un juego metamimético espacial del dilema del prisionero, con las siguientes características:

(a) Dispondremos de un retículo de n×n casillas, ocupadas por una población inicial N de 1000 individuos (obviamente, los parámetros n y N son ajustables). Los pagos de la matriz del dilema del prisionero son los valores R=1, T=b(b>1), S=P=0 y la matriz es:

Jugador A	Jugador B	
	Coopera (C)	Hace defección (D)
Coopera (C)	(R,R)	(S,T)
Hace defección (D)	(T,S)	(P,P)

(b) 1,2< b<2,5, tomando b sus valores del conjunto {1,6, 1,9, 2,2} (Chavalarias y Bourgine, 2003, 6); la distribución inicial de cooperadores tomará sus valores del conjunto {0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9}.

(c) La vecindad de cada individuo está compuesta por las 8 celdillas adyacentes más la propia celdilla del individuo.

(d) El agente juega con sus 8 vecinos y consigo mismo.

(e) Los nuevos pagos de los agentes se computan sumando los 9 resultados del juego entre 2 jugadores.

(f) Se introducen las siguientes reglas de imitación: (f1) regla de imitación del éxito: copia al agente de tu vecindad que obtenga el mayor pago; (f2) regla de imitación del perdedor: copia al agente de tu vecindad que consiga el menor pago; (f3) regla del conformismo: copia la conducta (cooperar o decepcionar) o la regla de imitación usada por la mayoría de los agentes de tu vecindad; (f4) regla del individualismo: copia la conducta o la regla imitativa empleada por la minoría de los agentes de tu vecindad; (f5) regla de “seguir la moda”: copia la conducta o la regla de imitación con una frecuencia más alta de aparición en tu entorno o vecindad.

En caso de igualdad de frecuencia, copia al azar; (f6) regla de imitación exclusivista o “snob”: copia la conducta o la regla de imitación con una menor frecuencia de aparición en tu vecindad. Si la frecuencia de aparición de conductas o reglas es la misma, copia al azar; (f7) regla de imitación oportunista: copia la última regla de imitación o conducta escogidas, y en la siguiente ronda copia al azar, alternando la copia de la última elección realizada con la copia al azar en todas las rondas del juego.

Al remitirse unas reglas a otras, aparece reflejada la dinámica endógena metamimética, en la que las reglas interactúan entre sí, actualizándose constantemente de manera reflexiva. Por este motivo, y a diferencia de la programación de reglas en juegos evolutivos clásicos, basados en la dinámica de replicadores (Weibull, 1995), nuestra dinámica metamimética no es exógena, es decir, no viene impuesta por unas reglas rígidas, impuestas externamente por el programador y sin capacidad de evolucionar en función de su encuentro con otras reglas.

(g) En cada periodo y para cada agente, cada regla de imitación puede actualizarse a sí misma. Por ejemplo, si un agente A adoptó la regla de imitación (f5) y si la mayoría de sus vecinos cambió a la regla (f1) en la última ronda del juego, entonces el agente A adoptará la regla (f1).

(h) Cada regla de imitación (eventualmente nueva) será usada para actualizar la conducta del agente A. Si la regla de imitación de A es (f1) y A cooperó en la última ronda, pero uno de sus vecinos B que cometió defección, obtuvo en la última ronda, mayor pago que A y que el resto de sus vecinos, el agente A se convertirá en un agente que practique la defección en la siguiente ronda.

(i) El límite cognitivo de los agentes es 1.

(j) Los agentes carecen de memoria, salvo para las reglas estocásticas (f5) y (f6), que la llevan incorporada hasta para las 10 rondas anteriores.

Una vez tenidas en cuenta todas estas características de nuestra simulación computacional, pasamos a analizar los resultados obtenidos, especialmente aquellos que conciernen al valor b=1,9, que corresponde al régimen caótico que se hace presente en la simulación de Nowak y May (1992). Para b=1,9, una tasa inicial de cooperadores de 0,5, 1000 agentes, 100 rondas del juego y una memoria M de las 3 rondas anteriores en el caso de las reglas (f5) y (f6), tenemos:

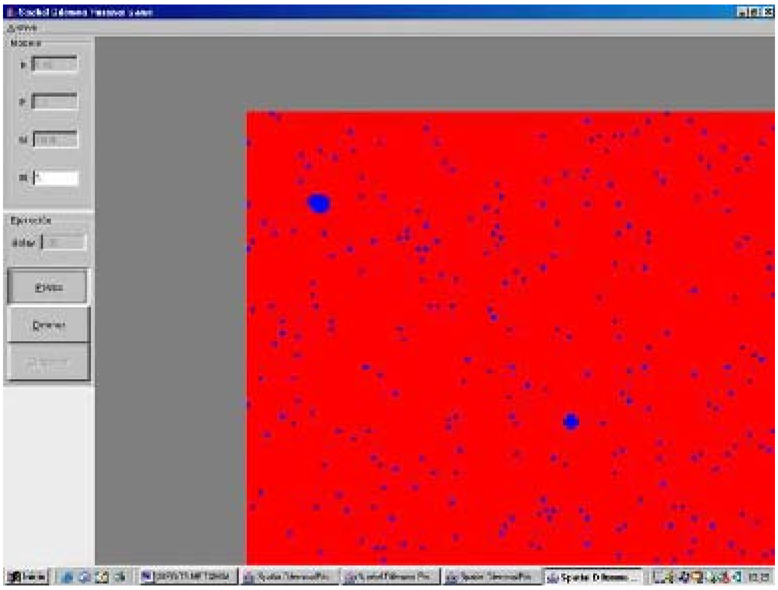

Figura 4

Para una distribución inicial uniforme de reglas y de acciones, sólo hay un atractor metamimético y el sistema alcanza el equilibrio (que es estático) en la ronda 32. Sólo se han formado 2 pequeños "clusters" estables de agentes cooperadores (en color azul) y, a pesar de que, inicialmente, la mitad de la población está conformada por agentes cooperadores, al final, estos sólo alcanzan el 28% del total. Si comparamos este resultado con los obtenidos en los casos en los que b=1,6 y b=2,2 y para una tasa inicial de cooperadores de 0,5 y siempre una memoria de las 3 rondas anteriores, vemos que los patrones son muy similares (como puede apreciarse en las figuras 5 y 6):

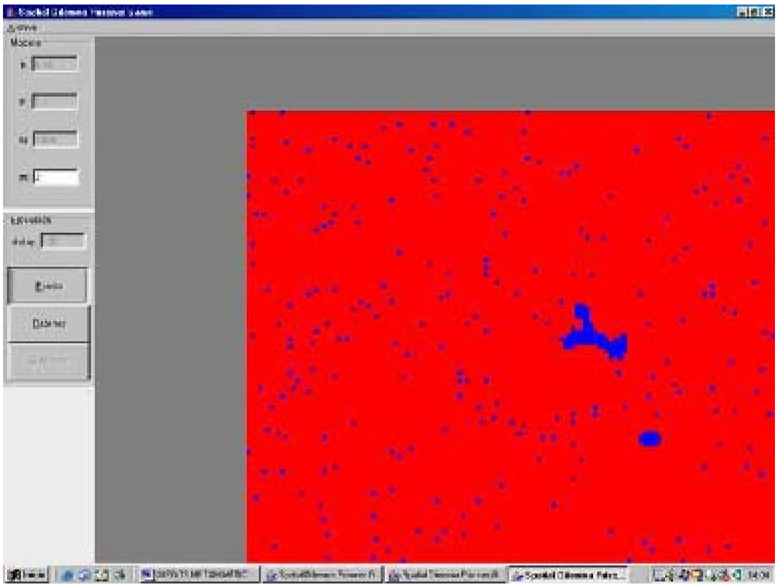

Figura 5

La similaridad de b=1,6 con el patrón forjado por b=1,9, es patente. Sólo hay un atractor, el equilibrio se alcanza en la ronda 37, no se generan osciladores y la distribución de agentes cooperadores también se concentra en 2 "clusters", existiendo una gran dispersión de dichos agentes por toda la matriz. Su porcentaje se sitúa en el 30%, algo lógico, dado el menor pago destinado a los individuos defraudadores. Obviamente, no se da ningún tipo de régimen caótico especial.

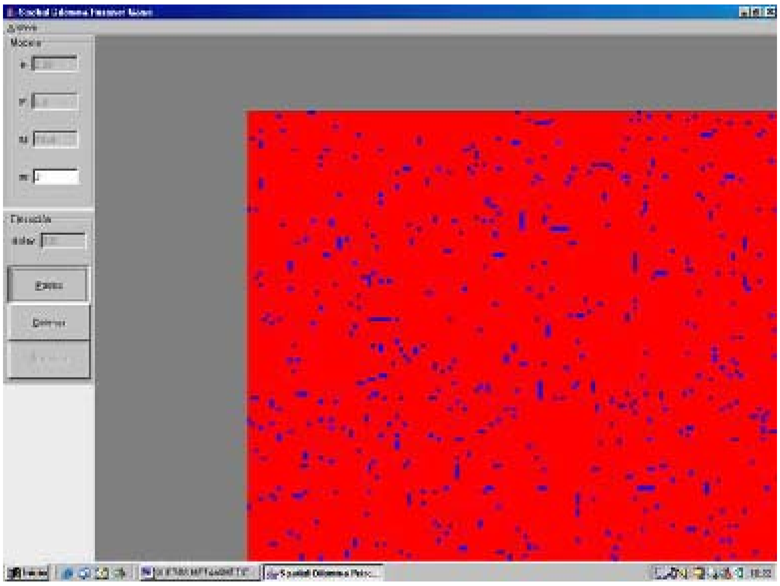

Figura 6

Si *b*=2,2 y manteniendo todos los demás parámetros iguales, volvemos a encontrar un patrón parecido, aunque ahora el equilibrio (que es estático) se alcanza en la ronda 50. Llama la atención la existencia de "blinkers" conformados cada uno por unos pocos agentes. Sin duda, se trata de una forma evolutiva de supervivencia frente a una marea de defectores que reciben un pago muy elevado por serlo. Parece como si entre los cooperadores primara la reciprocidad directa como manera de contestar a los invasores que practican la defección. La proporción de agentes cooperadores se sitúa ligeramente por encima del 20%. Como plantearemos en el apartado final de conclusiones, podemos afirmar que la cooperación ha sido ampliamente vencida por la defección, obteniéndose proporciones de agentes cooperadores muy por debajo de las conseguidas en la simulación de Chavalarias y Bourgine (2003). Explicaremos este sorprendente resultado.

Hemos realizado un exhaustivo recorrido por todas las posibilidades, combinando todos los posibles valores de *b* entre 1,2 y 2,2, con una distribución inicial de cooperadores entre 0,1 y 0,9 y una memoria M entre 1 y 9 rondas para las reglas (f5) y (f6). También hemos ido variando la población de agentes y hemos aumentado el número 100 de rondas, consiguiendo resultados cualitativa y cuantitativamente muy similares a los que acabamos de reseñar. Sólo nos queda intentar exponer el sentido de estos resultados.

ALGUNAS CONCLUSIONES

Nowak y May (1992) realizaron un notable hallazgo, al encontrar un régimen caótico en un juego espacial, plenamente determinista, del dilema del prisionero (para un valor de recompensa a los agentes defraudadores de *b*=1,9). Pero la dinámica del juego de Nowak y May es una dinámica clásica de replicadores. Apenas una década después, Chavalarias introduce un tipo especial de dinámica, bautizada como dinámica metamimética, a raíz de la introducción de reglas de imitación que interactúan entre sí, actualizándose de manera reflexiva y desde el metanivel.

La dinámica de replicadores es un caso especial y restringido de este tipo de dinámica (Chavalarias, 2006, 26 y ss.) En este trabajo, en línea con lo propuesto por Chavalarias y Bourgine (2003), demostramos que los juegos metamiméticos, sobre la base de un dilema del prisionero, anulan toda opción de existencia de un régimen caótico espacial, como consecuencia de su propia dinámica endógena: las reglas de imitación ejercen un poder atractor y preferencial tan grande, que no permiten la posibilidad de aparición de un régimen caótico.

De hecho, el aspecto más original de nuestro trabajo ha consistido en mezclar reglas de imitación puramente estocásticas (f5 y f6) con reglas no estocásticas clásicas (f1-f4) y además una regla mixta como (f7).Y aún así, no hemos logrado relajar la férrea dinámica metamimética: el equilibrio es estático, o sea, no hay vacilaciones en los agentes a la hora de decantarse por alguno de los polos preferenciales contundentemente generados por las reglas metamiméticas en su interacción.

Mayor sorpresa nos ha causado, sin embargo, la baja proporción de individuos cooperadores que hemos registrado en nuestras sucesivas simulaciones. Con un enfoque similar, Chavalarias y Bourgine (2003) obtienen sobre un 5% de agentes cooperadores para b=2,5 y sólo un 10% inicial de cooperadores, lo cual era previsible. Sin embargo, alcanzan hasta un 83% de colaboradores para b=1,2 y, eso sí, un 90% inicial de los mismos. Nosotros, incluso con proporciones iniciales del 90% de agentes cooperadores, y variando conjuntamente el resto de parámetros, nos encontramos con la formación de amplios y numerosos "clusters" de individuos defraudadores que, en el peor de los casos, llegan a ocupar fácilmente el 30% de la población total al finalizar la simulación.

Nos interrogamos por el lastre para el desarrollo de la cooperación que ha podido suponer el introducir las siete reglas de imitación. Pensamos que esta proporción poblacional tan baja de cooperadores para todo tipo de pagos que puedan recibir los agentes defraudadores, tiene explicación. Aún cuando se han introducido varias reglas de naturaleza estocástica, su efecto es anulado por la propia metadinámica mimética, que hace que ni siquiera puedan estar presentes en el atractor. De esta manera, los agentes atraídos por las reglas no estocásticas, especialmente por la regla de imitación del éxito (f1) y por la regla del conformismo (f3), y con valores de b que, progresivamente, van alentando la defección, se definen en masa como defraudadores. Poco puede hacer para contrarrestar esta circunstancia, la regla (f2) o de imitación del perdedor, mientras que una regla minoritaria como (f4) es barrida por la avalancha de agentes que encuentran en defraudar la forma de mantener sus pagos lo más altos posibles.

BIBLIOGRAFÍA

AXELROD, R. (1984): *The evolution of cooperation*. N. York: Basic Books.

CHAVALARIAS, D. (2006): "Metamimetic games: Modeling metadynamics in social cognition". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation,* 9(2).

CHAVALARIAS, D; BOURGINE, P. (2003): "Metamimetic and the spatial prisoner´s Dilemma". Manuscrito.

IACOBONI, M. (2008): *Mirroring people*. N. York: FSG.

NOWAK, M.; MAY, R. (1992): "Evolutionary games and spatial chaos". *Nature,* 359, pp. 826-829.

NOWAK, M; MAY, R. (1993): "The spatial dilemmas of evolution". *Int. J. Bifurcat. Chaos* 3, pp. 35-78.

TARDE, G. (1890): *Les lois de l´imitation*: trad. al inglés (1962): *The laws of imitation*. Gloucester, MA: Peter Smith.

WEIBULL, J.W. (1995): *Evolutionary game theory*. Mass.: MIT Press.

WOOLDRIDGE, M. (2002): *An introduction to multiagent systems*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.