

¿ES POSIBLE GANAR A TOMA-Y-DACA?

Rafael de Santiago Hernando
José Antonio García Ausín

Este trabajo surgió como respuesta a una curiosidad: ¿se podrá ganar a Toma-y-Daca? La duda vino al encontrarnos con *La evolución de la cooperación*, ese interesante libro de Robert Axelrod en el que trata algunos aspectos relacionados con el Dilema del Prisionero¹. Toma-y-Daca es una sencilla regla de conducta —una estrategia, en términos más formales— que decide si hemos de cooperar o no con otros individuos en el curso de una relación prolongada, que se da bajo determinadas circunstancias; y que, además, resultó ganadora en unos torneos computarizados organizados por Axelrod. En lo sucesivo, la designaremos como TyD.

En las páginas que siguen hemos intentado ganar a TyD. Se han construido nuevas estrategias y se han celebrado dos nuevos torneos computarizados, análogos a los de Axelrod, con la esperanza de poder vencer a TyD. De estos torneos, el más interesante es el primero, en el que hay dos nuevas estrategias: dos estrategias que lograron vencer en el corto plazo, pero no en el largo. En el segundo torneo se consiguió batir a TyD, pero en unas condiciones muy particulares.

La estructura del trabajo es la siguiente. En la primera parte se expone el problema con el que trata el dilema del prisionero y se introduce al lector en el «ambiente» de los torneos de Axelrod. La segunda parte está dedicada al primer torneo, y la tercera parte, al segundo. Un último capítulo de conclusiones completa el trabajo.

¹ Véase Axelrod, R., *La evolución de la cooperación*. Alianza Editorial. Madrid, 1986.

1. EL DILEMA DEL PRISIONERO Y LOS TORNEOS DE AXELROD

1.a. EL DILEMA DEL PRISIONERO Y EL ENTORNO DE LOS TORNEOS

Imaginemos una sociedad en la que no hay un poder central y en la cual los individuos son completamente egoístas: ¿en qué condiciones llega a surgir la cooperación en ese mundo de egoístas sin autoridad? O bien, ¿cómo puede llegar a desarrollarse la cooperación en situaciones en las que hay algunos motivos para cooperar, pero también los hay para no hacerlo?

El ejemplo típico que ilustra estas situaciones fue ideado por Flood en 1950, y ha recibido el nombre de *Dilema del prisionero*. Su formulación más sencilla es la siguiente. Dos acusados se entrevistan con el fiscal, que promete a cada uno la libertad si denuncia al otro. Si un prisionero testifica contra el otro, al haber pocas pruebas aparte de ésta, el primero queda en libertad y el otro es fuertemente penalizado. Si no le denuncia, es posible que el otro le denuncie a él. Si ambos denuncian, los dos salen mal parados, porque la prueba ha aumentado, aunque la pena se reparte. Si ninguno denuncia, la pena será más pequeña, porque hay pocas pruebas.

Si sólo se «juega» una vez, lo mejor que puede hacer cada uno, independientemente de lo que haga el otro acusado, es confesar (no cooperar). Sin embargo, si el proceso se repite de forma indefinida —cada jugador no conoce cuál es la última jugada— puede surgir la cooperación.

En este contexto, se define una *estrategia* (o regla de decisión) como un sistema completo de reglas que especifica qué hacer en cualquier situación que se pueda presentar.

Dado que el Dilema del Prisionero aparece con frecuencia en la vida², interesa saber cómo actuar en situaciones de ese tipo (qué estrategia adoptar). Con este fin Axelrod organizó dos torneos computarizados en los que cada participante presenta una estrategia³ que decide si debe cooperar o no cooperar en cada jugada. Cada estrategia se enfrentó con las demás, con su gemelo exacto y con una aleatoria (AZAR), en un sistema de «liga»⁴.

En ambos torneos la estrategia vencedora fue *Toma-y-Daca*, que empieza cooperando y, a partir de entonces, hace lo que haya hecho el otro en la jugada anterior.

Esta estrategia tiene propiedades muy particulares, que Axelrod sugiere como normas de conducta en el caso de que uno se vea inmerso en una situación similar a la del dilema del prisionero. Estas propiedades son:

2 Axelrod describe cómo surgió la cooperación en las trincheras del Frente Occidental, durante la I Guerra Mundial, entre soldados británicos y alemanes; cómo aparece y evoluciona la cooperación en sistemas biológicos; cómo algunas decisiones de política internacional se adaptan al dilema del prisionero, o cómo éste también está presente entre los senadores de los Estados Unidos.

3 Cada estrategia se presentaba como un programa de ordenador.

4 Véase Axelrod, *La evolución de la cooperación*, cap. II, para conocer los detalles técnicos del torneo.

- *decencia*, o no ser la primera en no cooperar. TyD siempre empieza cooperando, y lo sigue haciendo mientras el otro no rompa la colaboración;
- *indulgencia*, que es saber perdonar las defecciones del contrario restaurando la cooperación;
- *claridad*, que implica que su conducta sea fácilmente identificable; y
- *ser vindicativa*, que exige castigar las defecciones del contrario con fines correctivos: si la otra estrategia no coopera en una jugada determinada, TyD le castiga no cooperando en la siguiente; si el contrario vuelve a cooperar, TyD sabe entonces ser indulgente, y restaura la cooperación. Esto es: nunca es ella quien toma la iniciativa en la no cooperación; sus castigos tienen exclusivamente fines correctivos.

En este trabajo se intentan mejorar los resultados de TyD. Para ello se construyen estrategias nuevas y se enfrentan, en un sistema de liga, con algunos de los contrincantes que participaron en los torneos de Axelrod. Estos contrincantes se describen en el siguiente epígrafe. Las estrategias nuevas se presentan más adelante.

1.b. PRESENTACIÓN DE LOS PARTICIPANTES

La mayoría de las siguientes reglas de decisión están extraídas de los torneos de Axelrod, y constituyen como el «denominador común» de nuestros dos torneos. Son las que participarán en la «liga» junto con las nuevas estrategias que más adelante se introducen⁵.

TyD (Toma-y-Daca): Coopera en la primera jugada y, a partir de ese momento, hace lo mismo que la otra estrategia en la jugada anterior.

Tx2D (Toma por dos Daca): Variante de TyD que no castiga defecciones (no-cooperaciones) aisladas.

JOSS: Variante de TyD que aleatoriamente, con una probabilidad del 10 por 100, no coopera tras haberlo hecho el otro jugador.

DOWN (Downing): Trata de predecir el comportamiento del adversario mediante el cálculo de probabilidades condicionadas, y toma sus decisiones intentando maximizar sus ganancias a largo plazo⁶.

FRIED (Friedman): Comienza colaborando, pero si el adversario rompe la cooperación, no vuelve a cooperar.

5 Además de las que se van a mencionar, cada regla es enfrentada con una estrategia que coopera o no coopera aleatoriamente con un probabilidad del 50 por 100, y que será denominada AZAR.

6 Es necesaria una aclaración. El concepto de *largo plazo*, por ahora, no tendrá otro significado que el habitual: en el texto se quiere indicar que Downing, al tomar sus decisiones, cuenta con participar todavía en un número grande de jugadas. Esta observación es necesaria porque más adelante —en la parte III del artículo— se definirá el «largo plazo» de forma distinta (como participación en lo que se llamarán «rondas sucesivas» del torneo; hay que aclarar que Downing *no* cuenta con participar en esas rondas sucesivas). El funcionamiento de esta regla es ciertamente refinado. Para conocer los detalles de su forma de actuar, véase Axelrod, R.: *La evolución de la cooperación* ed. cit., p. 43.

N-C: No colabora nunca.

ING: Comienza colaborando siempre. Aleatoriamente defrauda, con una probabilidad creciente, y termina por no cooperar nunca.

TANT (Tanteadora): Defrauda en la primera jugada. Si el adversario no responde, coopera y no coopera alternativamente. En caso contrario, pide disculpas (coopera), y juega a TyD el resto de la partida.

TRANQ (Tranquilizadora): Si el adversario coopera con excesiva frecuencia, rompe aleatoriamente la cooperación y pide disculpas (coopera) inmediatamente.

D-R (Downing revisada): Similar a DOWN, pero con una probabilidad inicial diferente.

REVER: Versión de TyD, con capacidad para detener efectos de reverberación⁷.

TyDE: Versión de TyD. Si al llegar a la jugada 15 el adversario ha roto la cooperación unilateralmente en tres ocasiones, no vuelve a cooperar⁸.

TyDA: Versión de TyD que sólo castiga las defecciones no provocadas (cuando el adversario no coopera sin provocación previa).

PREM: Estrategia decente que premia el restablecimiento de la cooperación, cooperando dos veces.

JOSS2: Versión perfeccionada de JOSS; sólo rompe aleatoriamente la cooperación si en la jugada anterior ella misma cooperó.

C-S: Colabora siempre.

2. EL PRIMER TORNEO

2.a. LAS NUEVAS ESTRATEGIAS

Para intentar mejorar los resultados de TyD se han diseñado las estrategias *M-1* y *M-2*, que se enfrentarán en un sistema de «liga» a las que se han descrito en el apartado anterior.

Descripción de M-2

Esta estrategia se comporta de la siguiente forma a lo largo de las 16 primeras jugadas :

7 Los efectos de reverberación aparecen cuando uno de los jugadores no coopera sin motivo aparente y su actitud genera una serie de mutuas represalias (no-cooperaciones). Supóngase que TyD se enfrenta a una estrategia que empieza cooperando, defrauda en la quinta jugada y, a partir de entonces, se comporta como TyD; el desarrollo del enfrentamiento sería el siguiente, en el que se puede ver cómo a partir de la quinta jugada aparecen las «reverberaciones» [C = coopera; N = no coopera]:

TyD: CCCCCN CNCNCNCNCNCNCNCN...

Otra: CCCN CNCNCNCNCNCNCNCN...

8 Una estrategia rompe *unilateralmente* la cooperación cuando no coopera en una jugada, habiendo cooperado la otra en la jugada anterior.

- en las cuatro primeras, coopera siempre;
- juega a TyD en las cuatro siguientes;
- no coopera y coopera alternativamente en las siguientes cuatro; y
- no coopera nunca en las cuatro últimas.

Tras la jugada 16, analiza la puntuación obtenida y continúa jugando con aquella estrategia que le ha reportado un mayor beneficio⁹. A partir de ese momento y cada cuatro jugadas revisa la puntuación obtenida. Si observa una caída brusca, cambiará de estrategia, eligiendo la segunda que más beneficio le reportó al comienzo de la partida:

- si después del cambio el beneficio aumenta, continuará utilizando la nueva estrategia;
- Si se mantiene constante, utilizará la mas cooperativa de las dos;
- Si cae, regresa a la estrategia inicial.

Descripción de M-1.

Trata de identificar la estrategia del adversario. Durante las diez primeras jugadas, mientras se dedica a observar las acciones del contrario, utiliza la estrategia de TyD.

Si al llegar a la jugada 10 se ha producido una ruptura de la cooperación, analiza si el adversario se ha mostrado sensible a las represalias. Si la actuación del adversario es independiente de esas represalias, no volverá a cooperar con él; si responde a las represalias intentará restablecer la cooperación, jugando a partir de ese momento a Tx2D.

Si al llegar a la jugada 10 no hubo ruptura de la cooperación, durante las diez siguientes M-1 sigue la siguiente secuencia de cooperación (C) y no cooperación (N): NCNCNNCCCC, con el fin de provocar al adversario y analizar sus reacciones.

En la jugada 20 realiza un análisis similar al ya descrito, y elige cooperar siempre, no cooperar nunca, comportarse como TyD o alternar cooperación y no cooperación, en función del grado de sensibilidad que muestre el adversario¹⁰.

En el caso de que la estrategia a la que se enfrenta haya utilizado la misma secuencia, cooperará con ella.

II.b. RESULTADOS DEL TORNEO

Para analizar el comportamiento de M-1 y M-2, se llevó a cabo un torneo computarizado similar al descrito por Axelrod en el segundo capítulo de *La evolución de la cooperación*. En él se enfrentaron en un sistema de liga las estrategias mencionadas en el apartado anterior. Cada partida cons-

⁹ Si dos estrategias le han proporcionado el mismo beneficio, elige la más cooperativa.

¹⁰ Si es insensible, no coopera nunca; si es sensible y está dispuesto a perdonar, elige TyD; y si es sensible pero no responde a defecciones aisladas, se alterna cooperación y no cooperación.

tó de 500 jugadas¹¹. Cada enfrentamiento entre estrategias se realizó tres veces: los resultados que aparecen en el cuadro 1 están calculados como media aritmética de los resultados obtenidos en cada uno de los tres enfrentamientos. La estructura de pagos y recompensas que se ha empleado en el torneo es la siguiente:

	<i>COOPERAR</i>	<i>NO-COOPERAR</i>
<i>COOPERAR</i>	RR	IT
<i>NO-COOPERAR</i>	TI	PP

donde la primera letra es el pago del jugador *fila*, y la segunda, el del jugador *columna*. El valor de los pagos es: $T = 5$, $R = 3$, $P = 1$, $I = 0$.

Hay que señalar que los ejercicios de simulación que se van a llevar a cabo tienen una limitación. El número de estrategias que se enfrentan entre sí no es tan elevado como en el segundo torneo de Axelrod¹², lo que puede restar riqueza —aunque no interés— a los resultados. De todas formas, el número es suficiente para que los resultados sean significativos. Una posible mejora de este trabajo puede consistir en repetir los ejercicios incluyendo más contrincantes.

Los resultados se presentan en los *cuadros 1 y 2*. Como se puede observar, *en el corto plazo* la victoria en el torneo correspondió a M-2, seguida de M-1, mientras que TyD obtuvo el cuarto puesto.

Para conocer qué sucede en el «largo plazo», se ha realizado un análisis análogo al descrito por Axelrod, basado en la biología evolutiva. «Imaginemos que haya muchos animales de una única especie que interactúen muy frecuentemente unos con otros. Supongamos que las interacciones tomen la forma del Dilema del Prisionero. Cuando dos animales se encuentran, pueden cooperar uno con otro, no cooperar uno con otro, o uno de los animales puede explotar al otro. Supongamos además que cada animal pueda reconocer a individuos con los que ya ha interactuado, y sea capaz de recordar los aspectos más notables de su interacción, como por ejemplo, si el otro animal solía cooperar. Las rondas del torneo pueden ser entonces consideradas como otras tantas generaciones de dichos animales, siendo utilizada cada regla de decisión por un gran número de individuos. Una de las consecuencias convenientes de esta interpretación es que un animal dado puede interactuar con otro animal que se valga de su misma regla de decisión, exactamente lo mismo que puede tropezarse con otro que se valga de una regla distinta»¹³.

11 Este dato no era conocido por los contendientes para eliminar los efectos de final de partida.

12 En el primer torneo de Axelrod participaron catorce estrategias; en el segundo sesenta y dos. En el primer torneo de este trabajo van a participar diecinueve, y en el segundo, veinticuatro.

13 Axelrod: *La evolución de la cooperación*. Alianza Editorial. Madrid. 1986. pp. 55-56.

CUADRO 1. Matriz de resultados.

	Azar	TyD	Tx2D	Joss	Down	Fried	N-C	Ing	M-1	Tant	Tranq	D-R	Rever	TyDE	M-2	TyDA	Prem	Joss2	C-S
Azar	1122	1125	1576	1028	623	251	251	1532	268	1113	1105	261	1302	287	284	1415	1314	1095	1998
TyD	1125	1500	1500	548	1497	1500	499	1252	1493	1499	1462	1500	1500	1500	1491	1500	1500	1255	1500
Tx2D	924	1500	1500	1220	1490	1500	498	1192	768	750	1134	1500	1500	1500	760	1500	1500	1356	1500
Joss	1149	553	1414	529	1383	519	499	1327	1593	538	1215	1616	529	529	1661	1538	749	585	1599
Down	1455	1497	1495	1131	502	502	498	1908	1497	1484	1497	506	1497	1497	1487	1497	1497	1366	2500
Fried	1381	1500	1500	519	507	150	499	1906	539	507	1471	1500	1500	1500	539	1500	1500	512	1500
N-C	1536	504	508	504	508	504	500	1925	504	508	504	508	504	504	524	1500	504	504	2500
Ing	925	1257	1371	1137	148	204	144	1252	179	964	1294	1243	1264	1948	171	1467	1273	1136	1775
M-1	1508	1493	1983	1351	1497	519	499	1900	1490	1499	1455	566	1496	1493	1491	1499	1500	1321	2470
Tant	1153	1499	2000	533	1484	502	498	1506	1499	1000	1499	1658	1499	1499	280	1499	1499	1255	2000
Tranq	1103	1464	1744	1063	1497	41	499	1259	50	1499	1256	1734	1465	1468	1491	1469	1463	1279	1744
D-R	1528	1500	1500	1325	506	1500	498	1354	521	978	1134	1500	1500	1500	1235	1500	1500	1356	1500
Rever	1075	1500	1500	709	1497	1500	499	1254	1491	1499	1465	1500	1500	1500	1003	1500	1500	1352	1500
TyDE	1479	1500	1500	534	1497	1500	499	1461	1493	1499	1460	1500	1500	1500	1491	1500	1500	1254	1500
M-2	1460	1491	1985	1334	1462	514	494	1917	1491	1490	1491	1260	1618	1491	1488	1622	1982	1341	2480
TyDA	1002	1500	1500	1317	1497	1500	250	1190	1489	1499	1469	1500	1500	1500	1002	1500	1500	1331	1500
Prem	1037	1500	1500	1948	1497	1500	499	1243	1490	1499	1463	1500	1500	1500	762	1500	1500	1346	1500
Joss2	1142	1260	1663	582	1651	512	499	1303	1343	1257	1348	1661	1537	1256	1568	1542	1544	1252	1598
C-S	753	1500	1500	1352	0	1500	0	1088	45	750	1134	1500	1500	1500	30	1500	1500	1353	1500

* El cuadro debe leerse en horizontal: cada número representa la puntuación obtenida por la estrategia fila cuando se enfrentó a la estrategia que aparece en la columna correspondiente.

CUADRO 2. Puntuaciones globales (obtenidas a partir del cuadro 1).

M-2	28411	TRANQ	24128
M-1	28030	D-R	23935
TYDE	26175	Tx2D	23592
TYD	25621	FRIED	22880
TYDA	25546	C-S	20005
REVER	25344	JOSS	19760
DOWN	25318	ING	18102
PREM	25034	AZAR	17950
JOSS2	24518	N-C	15053
TANT	24362		

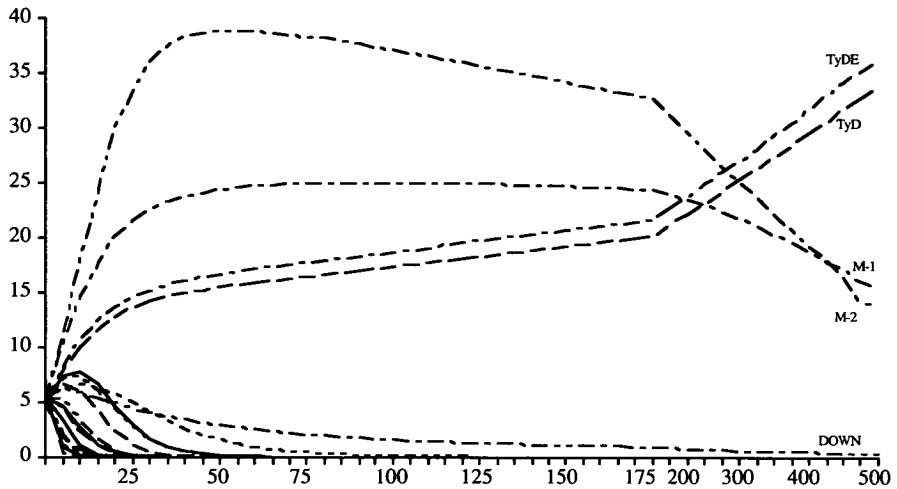
La idea consiste en que los individuos tenderán a comportarse a largo plazo de acuerdo con aquella regla de conducta que les proporcione mejores resultados. En cada generación, serán más los que abandonen modos de comportarse poco «rentables» y adopten las estrategias más eficaces. En la primera ronda, todas las estrategias están presentes en la misma proporción¹⁴. En las rondas sucesivas del torneo, tal proporción dependerá de

14 En concreto, el 5.2632 por 100, que es el valor correspondiente a 100/19 (el denominador corresponde al número de estrategias que participan en el torneo: las 18 descritas anteriormente más AZAR).

los resultados que alcance cada una. Si una estrategia, por ejemplo, obtiene en una puntuación doble que otra, la primera tendría una representación doble en la siguiente generación.

El gráfico 1 recoge las primeras 500 generaciones, que son suficientes para observar que la estrategia que se impone en el largo plazo es TyDE, seguida por TyD. Los resultados se pueden ver en el Anexo I; en el *cuadro 3* se muestra la proporción en que cada estrategia se hallaba presente en la generación 200.

GRÁFICO 1. Generaciones sucesivas del primer torneo.



* El cambio brusco de pendiente que hay en la generación 200 se debe tan sólo al cambio de escala: a partir de esa generación los resultados se presentan con mayor separación.

CUADRO 3. Proporción en que cada estrategia se halla presente en la generación 200*.

AZAR	E-20	TRANQ	E-56
TyD	21,19%	D-R	E-54
Tx2D	E-47	REVER	E-110
JOSS	E-63	TyDE	22,76%
DOWN	0,81%	M-2	31,23%
FRIED	E-32	TyDA	E-110
N-C	E-16	PREM	E-75
ING	E-21	JOSS2	E-204
M-1	24,01%	C-S	E-24
TANT	E-47		

* E-56, por ejemplo, indica que la estrategia correspondiente desaparece en la generación número 56.

A los efectos que aquí interesan, se puede considerar a TyD como la estrategia vencedora, pues pasadas las primeras generaciones el comporta-

miento de TyDE con los contrincantes que han sobrevivido es igual que el de TyD: en el *cuadro 1* se puede ver que los resultados que ambas obtienen cuando se enfrentan a M-1, M-2 o DOWN son exactamente iguales (ninguno de esos contrincantes deja de cooperar de forma unilateral en tres ocasiones antes de la jugada 15). Sumando sus resultados, resulta que la presencia de *Toma-y-Daca* en la generación 500 es el 70 por 100.

La victoria de TyD en el largo plazo es, si cabe, más meritoria si se considera que más de la mitad de las estrategias que participaron *NO* son decentes (de las diecinueve, OCHO son decentes y ONCE no lo son).

Los resultados sugieren algunos comentarios que se van a estructurar en torno a las cuatro características que hacían de TyD la estrategia vencedora en los torneos de Axelrod: claridad, decencia, vindicación e indulgencia.

1. Respecto a la *claridad*¹⁵ conviene destacar dos puntos: por una parte, M-1 y M-2 son menos claras que TyD; esto les generó problemas (peores resultados) con algunas estrategias¹⁶. Por otra, M-2 es más clara que M-1, y como consecuencia de ello obtuvo mejores resultados¹⁷. De ello se deduce que la claridad es una regla que conviene respetar.

2. Por lo que se refiere a la *decencia*¹⁸, al no ser M-1 y M-2 estrategias decentes, recibieron múltiples represalias por parte de sus adversarios, pero su capacidad para restablecer unilateralmente la cooperación logró compensar en la mayor parte de los casos este defecto o, al menos, limitar al máximo sus efectos negativos. La falta de decencia fue aprovechada para explotar a todas aquellas reglas susceptibles de serlo; sin embargo, esto sólo representó una ventaja en el corto plazo, dado que en el largo plazo las reglas susceptibles de ser fácilmente explotadas se extinguieron, y los costes de la falta de decencia inicial —aunque mínimos— fueron suficientes para evitar su predominio.

Los dos principales problemas a los que se enfrentan las estrategias no decentes son: (a) la obtención de malos resultados cuando se enfrentan consigo mismas, y (b) cuando lo hacen con otras estrategias no decentes.

M-1 salva el primer problema gracias a la cláusula que le permite identificar su propia secuencia, mientras que M-2 lo hace colaborando siempre, pues es la estrategia que le permite maximizar el beneficio cuando se enfrenta a sí misma.

15 Recuérdese que una estrategia es *clara* cuando es fácilmente identificable.

16 Véase, en el cuadro 1, los resultados obtenidos frente a D-R. Debido a la falta de claridad de M-1 y M-2, D-R erró en la identificación de ambas estrategias y se adentró en una pauta de no cooperación que dio malos resultados a todas ellas.

17 Tanto M-1 como M-2 erraron erraron en la identificación de D-R. Sin embargo, la mayor claridad de M-2 le llevó a rectificar, obteniendo un mejor resultado que M-1.

18 Una estrategia es *decente* cuando nunca es la primera en romper la cooperación.

El segundo problema lo solucionan adoptando —cuando se enfrentan a reglas no decentes— estrategias de carácter no cooperativo, con el fin de incentivar el restablecimiento de la cooperación¹⁹.

3. La *vindicación*²⁰ supone una ventaja, dado que reduce la posibilidad de ser explotado, pero en ocasiones también genera inconvenientes. Un ejemplo de estos inconvenientes lo constituyen los efectos de reverberación²¹. Los resultados muestran que tanto M-1 como M-2 aprendieron cuándo debían vengarse y cuándo no debían hacerlo, convirtiendo esta propiedad en uno de los pilares básicos de su victoria a corto plazo.

4. En cuanto a la *indulgencia*, ésta también presenta sus ventajas y sus inconvenientes. Una estrategia no indulgente obtiene malos resultados cuando se enfrenta a estrategias vindicativas, mientras que una que sea excesivamente indulgente puede ser fácilmente explotada. M-1 y M-2 también aprendieron cuándo debían ser indulgentes y cuándo no, optimizando consecuentemente sus resultados.

La estrategia M-2 explota al máximo a las estrategias cuyo grado de indulgencia es superior al de TyD. Los efectos se pueden observar en el *cuadro 3*, que recoge la proporción en que cada regla se halla presente en la generación 200: estrategias como REVER, TyDA y PREM —cuyo grado de indulgencia es superior al de TyD— son exterminadas en el largo plazo cuando M-2 está presente. En el *cuadro 4* se presentan resultados análogos a los del *cuadro 3*, para un torneo en el que M-2 no participó: en este caso, estrategias como REVER, TyDA y PREM sí están presentes, pues no fueron explotadas por M-2.

CUADRO 4. Rondas sucesivas sin la participación de M-2. (proporción en que cada estrategia se halla presente en la generación 200).

AZAR	E-28	TRANQ	E-60
TyD	15,24%	D-R	E-72
Tx2D	E-102	REVER	16,67%
JOSS	E-32	TyDE	16,65%
DOWN	0,66%	M-2	
FRIED	E-66	TyDA	16,42%
N-C	E-17	PREM	15,98%
ING	E-31	JOSS	20,00%
M-1	16,76%	C-S	E-45
TANT	1,55%		

19 El cuadro 1 muestra que tanto M-1 como M-2 obtuvieron buenos resultados al enfrentarse a estrategias no cooperativas.

20 Una regla es *vindicativa* cuando castiga las defecciones unilaterales del adversario no cooperando.

21 Si en el cuadro 1 se observan los resultados obtenidos por las distintas estrategias frente a JOSS, se puede comprobar cómo todas aquellas reglas que castigaron las defecciones de JOSS obtuvieron malos resultados.

2.c. CONCLUSIONES DEL PRIMER TORNEO

Los resultados del primer torneo permiten extraer las siguientes conclusiones:

1. Las dos nuevas estrategias que se han presentado (M-1 y M-2) son capaces de vencer a TyD en el corto plazo, pero no lo consiguen en el largo plazo.

2. Esto confirma los resultados obtenidos por Axelrod: compensa ser *claro, decente, vindicativo e indulgente*. El torneo ha demostrado que la falta de claridad no compensa en ningún caso, y que la falta de decencia sólo supone una ventaja en el corto plazo (cuando pueden existir reglas fácilmente explotables); a largo plazo compensa ser decente.

3. El éxito de M-1 y M-2 en el corto plazo radica básicamente en su mayor flexibilidad para aprender cuándo debían cooperar y cuándo no debían hacerlo.

3. EL SEGUNDO TORNEO

«Decepcionados» por no haber logrado ganar a TyD, decidimos intentar vencerla a cualquier costa. Para ello analizamos detalladamente qué había ocurrido en el primer torneo: qué había hecho TyD para imponerse, y qué errores habían cometido los demás para dejarse vencer. Con esa información en la mano, diseñamos nuevas estrategias, una de las cuales estaba específicamente construida para vencer en el «largo plazo»²² (como esos barcos que se diseñan especialmente para navegar en mares muy concretos: entre hielos o entre minas). Y consiguió vencer.

Sin embargo, los resultados no son del todo «válidos»; al menos, en el sentido de los torneos de Axelrod y del que se ha presentado en el apartado anterior. Con otras palabras: lo que se ha hecho es «convocar» otro torneo *distinto* del organizado por Axelrod. Interesa recalcar esto último: *se trata de torneos distintos, cualitativamente diversos*. Y lo son porque en los torneos anteriores, las reglas de decisión estaban *orientadas al corto plazo*, en el sentido de que los participantes sólo contaban con jugar en una «generación»; no sabían que iban a participar en las rondas sucesivas

22 Conviene hacer una precisión. En lo sucesivo se entenderá por «corto plazo» la participación en una única ronda del torneo, y «largo plazo» la participación en las generaciones sucesivas. Somos conscientes de que el «corto plazo» así definido es *muy largo*, pues consta de 500 jugadas —aunque este número sea desconocido por las estrategias cuando empiezan a jugar—; y que el «largo plazo» es *larguísimo* (se trata de mil generaciones en cada una de las cuales las estrategias interactúan 500 veces con todas las demás). Es una simple cuestión de notación, que hemos decidido emplear para simplificar las expresiones.

del torneo: esperaban simplemente enfrentarse a cada una de las estrategias en una única ronda²³.

En este segundo torneo, la estrategia que resultó vencedora estaba diseñada expresamente para ganar en el largo plazo. Sabía cómo iba a ser el torneo y su objetivo consistía en sobrevivir en el corto plazo y vencer en las generaciones sucesivas (en lo que hemos convenido en llamar «largo plazo»). Los resultados hay que entenderlos con cautela porque sólo una de las estrategias organizó su comportamiento contando con las nuevas condiciones: es más, sabía también que las demás estrategias iban a comportarse como en los torneos previos²⁴. En el fondo, lo que se estaba haciendo era mantener una cláusula *ceteris paribus* para todas las estrategias, excepto para una de ellas. Lógicamente, esa regla resultó ser la ganadora.

Con todo, los resultados son interesantes y merece la pena conocerlos. El relato de este segundo torneo constituye el contenido de esta tercera parte del trabajo.

3.a. RESULTADOS DEL SEGUNDO TORNEO

En el segundo torneo participaron veinticuatro estrategias (incluyendo AZAR), lo que indica la presencia de cinco nuevos participantes. Estas nuevas estrategias son:

- *RENT*: Esta regla emplea como punto de comparación lo que se podría denominar «rendimiento medio esperado». El rendimiento esperado por *cooperar* es 1,5 puntos (si el otro también coopera, se obtienen TRES puntos; si no coopera, CERO: la media es 1,5). Si *no coopera*, el rendimiento medio esperado es de 3 puntos (CINCO si el otro coopera, y UNO si no lo hace).

RENT colabora en la primera jugada y defrauda (no coopera) en la segunda. En la tercera jugada elige la opción cuyo resultado haya sido mayor que el «rendimiento medio esperado» correspondiente; si esto ha sido así en los dos casos, divide los resultados obtenidos por el «rendimiento medio esperado» y elige aquella opción para la cual este cociente sea mayor²⁵. Elegida una opción, la mantendrá hasta que el rendimiento

23 Esa única ronda estaría compuesta de un número indefinido de jugadas —que resultaron ser 500 en el torneo anterior—; pero no se contaba con participar en las rondas sucesivas.

24 Es decir, que las demás seguían sin saber que habría «rondas sucesivas».

25 Un ejemplo lo hará más claro. Se sabe que *RENT* coopera en la primera jugada y no coopera en la segunda. Si el contrincante cooperó en la primera jugada, *RENT* obtuvo 3 puntos por su cooperación (cifra superior al rendimiento esperado, que es 1,5). Si en la segunda jugada el otro también cooperó, *RENT* logró 5 puntos (también superior al rendimiento esperado de la no cooperación, que es de 3 puntos). En el primer caso (cooperación), el cociente que se indica en el texto es $3/1,5=2$; en el segundo (no cooperación), el cociente es $5/3 = 1,66$. Por lo tanto, *RENT* cooperaría en la tercera jugada.

medio obtenido en las jugadas pasadas en las que ejercitó esa opción²⁶ caiga por debajo del «rendimiento medio esperado» de esa opción. En el momento en que esto ocurra, cambia de opción. Y así se sigue comportando en el resto de las jugadas.

- *V-1*: Empieza cooperando. A partir de entonces, decide con arreglo al siguiente criterio: *cooperará* en una jugada si el número de veces que el adversario ha cooperado en las cuatro últimas jugadas es mayor o igual que el número de veces que ha defraudado. En caso contrario, *no cooperará*²⁷.

- *V-2*: Se comporta como *V-1*, pero comienza no cooperando.

- *REL*: Colabora en la primera jugada; defrauda en la segunda, y vuelve a colaborar en la tercera. Entonces observa cómo ha reaccionado el adversario y actúa según el siguiente criterio:

- si el otro no se ha vengado, coopera;

- si se ha vengado, se le castiga repitiendo las jugadas segunda y tercera (NC y C); este comportamiento se mantiene mientras el otro muestre una actitud vindicativa;

- si deja de vengarse, se pasa a colaborar con él.

- *LAT (Latente)*: Se trata de la estrategia ganadora y está diseñada, como ya se mencionó antes, para sobrevivir en el corto plazo e imponerse en el largo. Comienza colaborando. En las siguientes jugadas trata de catalogar al adversario como decente o no decente. Con ese fin establece la hipótesis de que se está enfrentando a una regla decente y le asigna la probabilidad:

$$p(i) = p(i-1) + 0,5/2^{i-1}$$

en la que *i* designa el número de la jugada; $p(0) = 0$ y el «grado de confianza» que va a considerar es $\alpha = 10^{-9}$. Téngase en cuenta que $p(i)$ no depende del comportamiento del otro jugador. *LAT* aceptará la hipótesis anterior cuando $p(i) = 0,999999999$; esto es, siempre catalogará a la otra regla como decente en la misma jugada²⁸.

26 Este rendimiento es igual a:

$$\frac{\text{puntuación de las jugadas pasadas en las que cooperó (no cooperó)}}{\text{número de jugadas en las que cooperó (no cooperó)}}$$

27 Hasta la cuarta jugada, aplica el mismo criterio, pero sobre un número de jugadas que no llega a cuatro. Supongamos, por ejemplo, que el contrincante cooperó (C) en la primera jugada, pero no lo hizo (N) en la segunda: el criterio sólo puede aplicarse sobre dos jugadas pasadas, e indica que en la tercera jugada *V-1* debe cooperar ($1C \geq 1N$). Si el otro no coopera en la tercera, en la cuarta *V-1* no cooperará ($1C < 2N$).

28 Siempre que se mantenga $p(0) = 0$ y $\alpha = 10^{-9}$, y siempre que el otro jugador haya colaborado hasta entonces: como se verá más adelante, si el contrincante rompe la cooperación unilateralmente, se le cataloga de inmediato como no decente.

Mientras la hipótesis que hizo no haya sido aceptada como verdadera —esto es, antes de haber catalogado al contrincante como decente—, LAT se comporta del siguiente modo (recuérdese que empieza colaborando en la primera jugada):

- Si el adversario no rompe la colaboración, coopera.
- Si el otro rompe la cooperación, *es catalogado como no decente* y se castiga cada defección no cooperando en la siguiente jugada: (a) si detecta que sus represalias generan efectos de reverberación, pasa a colaborar siempre²⁹; (b) si el adversario rompe unilateralmente³⁰ la cooperación en más de tres ocasiones no vuelve a cooperar con él; (c) si no sucede nada de esto, seguirá jugando como TyD.

Cuando la función de probabilidad alcance el límite de confianza³¹, LAT no coopera y observa el comportamiento de su rival en esa misma jugada: si no cooperó, es posible que se esté enfrentando a sí misma y pasa a colaborar siempre³²; si cooperó, el otro es catalogado como decente y LAT alterna a partir de entonces cooperación y no cooperación, actitud que no variará bajo ningún concepto.

Estas nuevas estrategias se enfrentaron con las otras diecinueve en las mismas condiciones del primer torneo. La matriz de resultados se muestra en el Anexo II. Los resultados del análisis para el largo plazo se pueden ver en el *gráfico 2*, en el que se muestran mil generaciones sucesivas del torneo. Fácilmente se aprecia que la vencedora en el largo plazo fue LAT.

3.b. ¿QUÉ APRENDIÓ LAT DEL PRIMER TORNEO?

Conviene recordar que LAT es una regla no decente (aunque empieza cooperando, tiene previsto no cooperar unilateralmente en una jugada determinada). Los torneos de Axelrod sugieren que una regla decente no podrá obtener un rendimiento mejor que el de TyD: por eso, la regla con la que hemos intentado vencer en esta ocasión es no decente. Y lo que interesa saber es qué problemas tuvieron las estrategias no decentes en los torneos anteriores. Pues bien, estudiando detenidamente las interacciones del primer torneo se pueden aprender las siguientes lecciones:

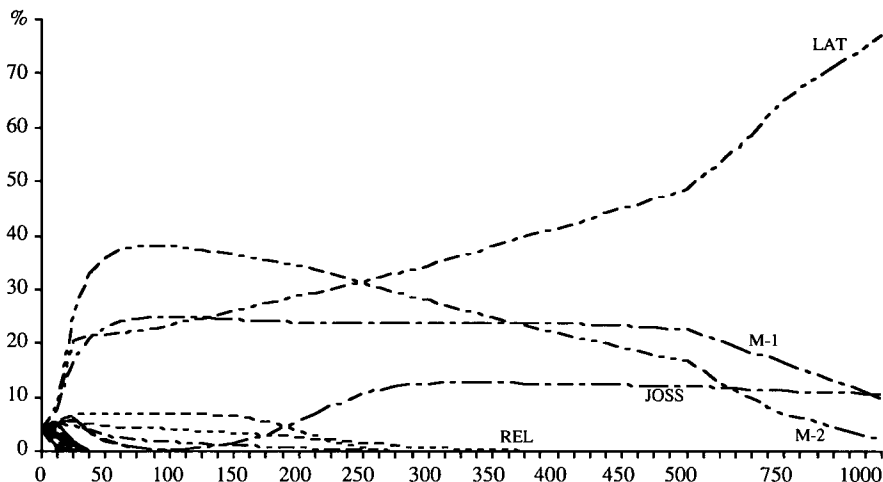
29 Se detectan efectos de reverberación cuando la otra regla responde no cooperando, en *tres* ocasiones seguidas, a la no cooperación de LAT. En este caso, lo mejor que se puede hacer, pensando en el largo plazo, es reestablecer la cooperación.

30 Como ya se mencionó en una nota previa, se entiende que una estrategia rompe *unilateralmente* la cooperación cuando no coopera en una jugada, habiendo cooperado la otra en la jugada anterior. Las mutuas represalias que aparecen en los efectos de reverberación no se consideran defecciones unilaterales: se trata de represalias —de carácter vindicativo— a la no cooperación anterior del otro jugador.

31 Esto es, cuando $p(i) = 0,999999999$ (y el otro haya cooperado hasta entonces).

32 Téngase en cuenta que LAT está diseñada para el largo plazo, y sabe que en las rondas sucesivas del torneo tendrá que enfrentarse consigo mismo en frecuentes ocasiones. Por eso es muy importante que sea capaz de detectarse a sí misma.

GRÁFICO 2. Generaciones sucesivas del segundo torneo.



* El cambio de pendiente que hay en la generación 500 se debe al cambio de escala: a partir de esa generación los resultados se presentan con mayor separación.

(a) Las estrategias excesivamente vindicativas no logran sobrevivir en el largo plazo³³. Esto es importante, pues uno de los problemas que tienen las reglas no decentes es la obtención de malos resultados cuando se enfrentan a reglas muy vindicativas. Con esta información, LAT se puede permitir el lujo de ignorar a este tipo de estrategias, y no hace nada para mejorar sus resultados cuando se enfrenta a ellas: sabe que le causarán problemas en el corto plazo (cuando se enfrenta con FRIEDMAN, por ejemplo, sólo obtiene 329 puntos), pero *sabe* también que desaparecerán pronto en el largo³⁴. Conviene fijarse en que LAT no alcanza el primer puesto hasta la generación 250: sabe que no puede aspirar al triunfo hasta que desaparezcan algunas estrategias con las que obtiene malos resultados; pero *sabe* también que terminarán desapareciendo, así que es cuestión de esperar³⁵.

(b) Una estrategia no decente que quiera imponerse en el largo plazo ha de explotar a las decentes: después de romper la cooperación unilateralmente nunca debe pedir perdón (nunca debe volver a cooperar). Esto requiere una explicación más detallada.

Por una parte, cuando una estrategia decente se enfrenta a sí misma obtiene la puntuación máxima que puede alcanzar en ese caso (1.500 pun-

33 FRIEDMAN desapareció, en el primer torneo, en la generación 32. En el segundo no defraudó las esperanzas de LAT, y desapareció en la generación 34.

34 Como se podrá ver más adelante, en el segundo torneo FRIEDMAN desapareció en la generación 34.

35 Esto es utilizar «información privilegiada», y es la causa por la que ambos torneos son cualitativamente distintos.

tos). Cuando es una estrategia no decente la que se enfrenta a sí misma, sólo puede obtener —en el mejor de los casos— 1.498 puntos, pues debe defraudarse al menos una vez. Esta diferencia es suficiente para asegurar el predominio en el largo plazo: téngase en cuenta que en las rondas sucesivas del torneo, cada estrategia se enfrenta con *todas* las demás; si la presencia de una regla es cada vez mayor, mayor será la frecuencia con la que se enfrente a sí misma (y más apreciada será esa diferencia en las ganancias, aunque sólo sea de dos puntos: recuérdese también que a mayor puntuación, mayor porcentaje en la siguiente ronda).

Por otra parte, cuando una estrategia no decente se enfrenta *en el corto plazo* con una decente, vindicativa e indulgente (al estilo de TyD), lo mejor que puede hacer es pedir perdón tras haber defraudado y volver a cooperar: de esta forma, ambas obtienen una puntuación alta, e *idéntica* para las dos estrategias. Si estas reglas participaran ahora en rondas sucesivas del torneo —sin saberlo previamente—, en el largo plazo se impondría la estrategia decente, debido a la diferencia de DOS puntos que obtiene cuando se enfrenta a sí misma.

Por tanto, lo que LAT aprende es que *en el largo plazo* —cuando se enfrente a estrategias decentes, vindicativas e indulgentes— debe comportarse justo al revés que en el corto: es decir, explotar a esos contrincantes. Esto exige no cooperar en una jugada (en la que se obtiene una diferencia de CINCO puntos) y no volver a cooperar nunca (no pedir perdón). Los resultados serán más bajos, pero se obtiene una diferencia importantísima para la supremacía en el largo plazo. LAT vuelve a hacer uso de información privilegiada.

(c) Lo que LAT ha aprendido en los dos puntos anteriores debe resumirlo en una regla de decisión sencilla y general. Pues bien, LAT lo hace estableciendo que la forma ideal para enfrentarse a una estrategia decente es alternar cooperación y no cooperación. De esta forma se explota en gran medida a las que son poco vindicativas (como Tx2D), lo cual viene muy bien para el objetivo de sobrevivir a corto plazo; frente a las estrategias muy vindicativas (como FRIEDMAN) se obtienen malos resultados, pero LAT ya sabe que éstas desaparecerán muy pronto en el largo plazo; y, por último, consigue explotar a TyD: al enfrentarse a ella y ser desconocido el número de jugadas, pueden darse dos casos: que TyD venga todas las defecciones de LAT, o que venga todas menos la última. Esto supone una ganancia neta de CERO puntos en el primer caso, y de CINCO en el segundo: por término medio, la ganancia será de 2,5 puntos, que es mayor que los DOS puntos de diferencia que existen a favor de TyD cuando las estrategias se enfrentan a sí mismas. Esto debería asegurar el predominio en el largo plazo. (Si la frecuencia con la que se defrauda fuera menor —por ejemplo, una de cada tres jugadas— no se alcanzaría un promedio de DOS puntos y se perdería la supremacía en el largo plazo; si esa frecuencia fuera mayor —no cooperar nunca, por ejemplo— se asegurarían los CINCO puntos, pero los resultados serían tan bajos que no se lograría sobrevivir más allá de las primeras generaciones).

(d) Una estrategia no decente que quiera imponerse en el largo plazo ha de ser capaz de detectarse a sí misma, de modo que pueda restablecer la cooperación de inmediato y la pérdida sea sólo de DOS puntos (por definición una estrategia no decente romperá la cooperación unilateralmente en algún momento; si no es capaz de detectarse a sí misma perderá, como mínimo CUATRO puntos y, con ellos, la posibilidad de imponerse en el largo plazo). Cuando LAT se enfrenta a sí misma es capaz de detectarse porque se defrauda en una jugada determinada, nunca aleatoria.

(e) Otra lección que aprendió LAT es que debía ser vindicativa al enfrentarse a estrategias no decentes, para incentivar así el restablecimiento de la cooperación. También aprendió que las estrategias no decentes que no responden a la vindicación³⁶ no sobreviven en el largo plazo —pues obtienen resultados bajísimos—, y no hay que preocuparse de ellas.

(f) El apartado anterior tiene una excepción: aquellas estrategias que generan efectos de reverberación. Con ellas, lo mejor que se puede hacer es cooperar siempre. Téngase en cuenta que con esta actitud LAT será explotada por tales reglas (por ejemplo, JOSS); pero restablecer la cooperación beneficia también a LAT: obtendrá peores resultados que el contrincante, pero más elevados que los que alcanzaría en caso de no haber restablecido la cooperación³⁷. LAT *sabe* —haciendo uso de esa «información privilegiada» de la que dispone— que tales reglas no ofrecerán problemas en el largo plazo, ya que no son capaces de detectarse a sí mismas. Por tanto, ser capaz de pasar a cooperar con las estrategias que generan efectos de reverberación es una condición deseable: mejora los resultados en el corto plazo y, además, genera una simbiosis que acelera el exterminio de las decentes, lo que facilita el predominio en el largo plazo (sobre este punto se volverá más adelante).

Estas son las enseñanzas principales que LAT aprendió del torneo anterior, y que incorporó a su comportamiento. Como se ve, el hecho de estar orientada al largo plazo marca diferencias cualitativas importantes respecto a las demás estrategias.

3.c. OTROS COMENTARIOS SOBRE EL SEGUNDO TORNEO

El resultado más sorprendente del segundo torneo es el comportamiento de JOSS. En las rondas sucesivas del primero, esta estrategia desaparecía muy pronto (en concreto, en la jugada 63). En el segundo torneo, sin embargo, no sólo no desaparece, sino que invierte su tendencia y obtiene el segundo puesto al cabo del mil generaciones. ¿Cómo es esto posible?

36 Y continúan, por tanto, no cooperando en las jugadas sucesivas.

37 Considérese el enfrentamiento entre JOSS y TyD: cuando la primera defrauda, empiezan los efectos de reverberación; cuando JOSS defrauda por segunda vez, ambas dejan de cooperar hasta el final de la partida, logrando puntuaciones muy bajas: TyD obtiene 546 puntos y JOSS 553. Sin embargo, cuando se enfrentan LAT y JOSS, la primera obtiene 1352 puntos y la segunda 1594.

Por una parte, cuando se enfrenta a estrategias decentes y vindicativas nunca pide perdón³⁸. Por otra parte, su comportamiento genera efectos de reverberación, y varias estrategias llegan a la conclusión de que lo mejor que pueden hacer es dejarse explotar (tales estrategias son explotadas por JOSS, pero obtienen altas puntuaciones que no obtendrían en caso de no haber detenido los efectos de reverberación: ésta es la base de las simbiosis mencionadas en el punto (f) del epígrafe anterior).

Sin embargo, JOSS no es capaz de detectarse a sí misma, lo que le impide alcanzar tan buenos resultados como LAT. Cuando se enfrenta a sí misma, JOSS obtiene tan sólo 529 puntos (mientras que LAT obtiene 1498).

Merece la pena dedicar unos breves comentarios a la cuestión de las simbiosis que surgen entre JOSS y las estrategias capaces de detectar y detener los efectos de reverberación. Esas estrategias —como ya se ha visto— se dejan explotar por JOSS. A cambio, obtienen dos ventajas considerables: en primer lugar, logran unas ganancias que no alcanzarían en caso contrario; y, en segundo lugar, JOSS perjudica a las estrategias decentes, acelerando su exterminio en el largo plazo. Esto pone de manifiesto que a esas otras estrategias les conviene «mantener viva» a JOSS.

El caso más claro de esta simbiosis es la que existe entre JOSS y LAT. La primera aumenta la capacidad de predominio de la segunda en el largo plazo y, a la vez, contribuye a exterminar a los enemigos de LAT. Pero ésta presta a JOSS el mismo tipo de ayuda, por lo que se constituyen en aliados. JOSS ayuda a LAT a ser el número UNO, y LAT convierte a JOSS en su número DOS³⁹. Otra simbiosis se da entre JOSS2 y REL⁴⁰.

Ambas alianzas [LAT-JOSS y REL-JOSS2] explican en buena medida la desaparición de TyD y de TyDE: en el primer torneo JOSS y JOSS2 desaparecieron rápidamente⁴¹ y no les causaron apenas perjuicios; sin embargo, en el segundo torneo las simbiosis mencionadas lograron «mantener a flote» a JOSS y a JOSS2, y eso dañó seriamente a TyD y a TyDE.

Por último, en este segundo torneo el 66 por 100 de las estrategias eran no decentes⁴². Esto justifica, en parte, los buenos resultados de LAT también en el corto plazo, en el que resultó vencedora⁴³. El elevado porcentaje

38 Lo cual es una ventaja, tal como se vio en los puntos (b) y (c) del epígrafe anterior.

39 Si se hubieran realizado más generaciones en el segundo torneo, llegaría un momento en el que sólo permanecerían JOSS y LAT. En este caso, LAT se impondría por completo, pero sin romper la alianza. Sería JOSS la que se perdería a sí misma, al no ser capaz de detectarse.

40 Los resultados de REL son también llamativos. La base de su buen rendimiento está, entre otros motivos, en la alianza establecida con JOSS2 y en que es capaz de identificarse a sí misma en una sola jugada.

41 Especialmente JOSS.

42 Las cinco nuevas reglas que se han introducido en el último torneo son todas no decentes. En total, las no decentes son 16, y las decentes sólo 8.

43 Véase *Anexo II*. El triunfo de LAT en el corto plazo es accidental y se puede explicar, en parte por lo mencionado en el texto, y en otra buena parte por la presencia de

inicial de reglas no decentes facilita, además, que en las rondas sucesivas del torneo la población no decente sea cada vez mayor, y que sea menor la decente. La idea es la siguiente: si inicialmente hay muchos individuos no decentes que obtienen buenos resultados será más fácil que otros imiten su conducta; y será más difícil fijarse en los decentes, pues hay pocos. Si el torneo se repitiera con una proporción inicial de reglas decentes más elevada, seguramente los resultados serían distintos.

4. CONCLUSIONES

En los apartados anteriores se han mostrado los resultados de dos torneos computarizados que pretenden recrear las condiciones del Dilema del Prisionero, y en el que se enfrentan entre sí diversas estrategias o reglas de decisión. Los torneos son análogos a los que Axelrod narra en *La evolución de la cooperación*. El objetivo era batir a *Toma-y-Daca*.

En el primer torneo —descrito en el apartado II— se introdujeron dos estrategias nuevas, *M-1* y *M-2*, que lograron vencer a TyD en el corto plazo, pero no en el largo. Los resultados de este torneo confirman los obtenidos por Axelrod. Y permiten reafirmar que si nos encontramos en el curso de una relación prolongada con características similares a las del Dilema del Prisionero, merece la pena ser *claro, decente, vindicativo e indulgente* en nuestras interacciones con los demás. El torneo ha demostrado que la falta de decencia sólo supone una ventaja en el corto plazo: se puede «tirar la piedra y esconder la mano» algunas veces; pero a la larga, si seguimos tirando piedras, «no podremos esconder ya la mano», pues todos sabrán con quién están tratando. A largo plazo conviene ser decente. También ha demostrado el torneo que la falta de claridad no conviene en ningún caso.

En el segundo torneo se introducen cinco nuevas estrategias. Este torneo se aparta de la estructura del anterior, pues se permite a una de las nuevas reglas el acceso a «información privilegiada». Sólo una de ellas sabe que va a participar en la simulación de generaciones sucesivas del torneo —análogas a las que realiza Axelrod, basadas en una idea tomada de la biología evolutiva—. Esa estrategia, denominada LAT, está diseñada específicamente para el «largo plazo»: es capaz de detectarse a sí misma; sabe detener los efectos de reverberación; cuenta con que las estrategias excesivamente vindicativas no sobrevivirán en el largo plazo, por lo que no le importa obtener malos resultados con ellas en el corto; en definitiva, «sabe demasiado». Y, además, es la única a la que se le permite actuar de esa forma: se está manteniendo una cláusula *ceteris paribus* para todas

varios de sus aliados —con los que establece simbiosis— entre los participantes. Si entre estos hubiera habido menos «aliados», LAT probablemente no hubiera vencido en el corto plazo.

las estrategias, excepto para ella. Como es lógico, fue la vencedora del torneo, pero los resultados ya no tienen la misma validez que los del primero. Con todo, el análisis de sus interacciones ayuda a comprender mejor el funcionamiento de los torneos y presenta algunas particularidades interesantes, como las simbiosis que se dan entre algunos pares de estrategias.

BIBLIOGRAFIA

Axelrod, R.: *La evolución de la cooperación*. Alianza Universidad. Madrid, 1986 (1ª ed. 1984).

ANEXO I

Primer torneo. Generaciones sucesivas. Porcentaje en que una estrategia está presente en cada generación.

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
AZAR	5,2632	0,886	0,058	0,0019	E-20											
TyD	5,2632	7,833	9,989	11,602	12,763	13,584	14,169	14,603	14,943	15,227	15,477	15,705	15,919	16,125	16,323	16,517
Tx2D	5,2632	4,538	2,511	0,999	0,303	0,0736	0,0152	0,0028	0,0005	0,0001	E-47					
JOSS	5,2632	1,962	0,605	0,194	0,068	0,0268	0,011	0,0047	0,002	0,0009	0,0004	0,0002	0,0001	E-63		
DOWN	5,2632	6,297	5,81	5,303	4,867	4,449	4,052	3,689	3,367	3,085	2,84	2,627	2,441	2,278	2,134	2,006
FRIED	5,2632	3,353	1,034	0,188	0,0225	0,0019	0,0001	E-32								
N-C	5,2632	0,2811	0,0047	0,0001	E-16											
ING	5,2632	1,009	0,084	0,0034	0,0001	E-21										
M-1	5,2632	10,4709	14,618	17,804	20,089	21,612	22,618	23,298	23,774	24,115	24,367	24,556	24,699	24,806	24,887	24,946
TANT	5,2632	5,318	3,456	1,55	0,492	0,117	0,023	0,004	0,0007	0,0001	E-47					
TRANQ	5,2632	4,588	2,773	1,006	0,495	0,163	0,048	0,0136	0,0037	0,001	0,0002	0,0001	E-56			
D-R	5,2632	4,546	2,427	1,006	0,351	0,107	0,0303	0,0081	0,0021	0,0005	0,0001	E-54				
REVER	5,2632	7,104	7,335	6,131	4,34	2,717	1,567	0,859	0,457	0,239	0,124	0,063	0,0329	0,0169	0,0087	0,0045
TyDE	5,2632	8,342	10,729	12,468	13,715	14,595	15,221	15,685	16,049	16,353	16,62	16,864	17,094	17,314	17,527	17,735
M-2	5,2632	11,448	17,992	24,458	29,905	33,737	36,122	37,511	38,285	38,69	38,872	38,913	38,861	38,746	38,585	38,391
TyDA	5,2632	7,4009	7,79	6,526	4,602	2,864	1,642	0,895	0,473	0,246	0,127	0,065	0,033	0,0171	0,0088	0,0045
PREM	5,2632	6,5803	5,992	4,16	2,302	1,072	0,444	0,171	0,0634	0,022	0,0082	0,0029	0,001	0,0004	0,0001	E-75
JOSS2	5,2632	6,251	6,515	6,282	5,768	4,874	4,032	3,251	2,576	2,016	1,562	1,2007	0,916	0,695	0,524	0,3981
C-S	5,2632	1,786	0,27	0,019	0,0006	E-24										

	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
<i>TyD</i>	16,632	16,896	17,082	17,266	17,4502	17,633	17,816	17,998	18,185	18,364	18,547	18,731	18,916	19,101
<i>DOWN</i>	1,937	1,791	1,7002	1,617	1,542	1,4743	1,411	1,354	1,302	1,253	1,208	1,166	1,127	1,091
<i>M-1</i>	24,973	25,014	25,0302	25,035	25,032	25,021	25,004	24,981	24,953	24,9203	24,883	24,842	24,797	24,748
<i>REVER</i>	0,003	0,0012	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	E-110							
<i>TyDE</i>	17,858	18,141	18,3405	18,538	18,735	18,9322	19,128	19,324	19,5207	19,711	19,914	20,111	20,309	20,508
<i>M-2</i>	38,263	37,936	37,685	37,423	37,152	36,8756	36,593	36,307	36,019	35,727	35,434	35,139	34,843	34,545
<i>TyDA</i>	0,0031	0,0012	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	E-110							
<i>JOSS2</i>	0,329	0,2177	0,1608	0,118	0,0865	0,063	0,0457	0,033	0,023	0,017	0,012	0,008	0,006	0,004

	150	155	160	165	170	175	200	250	300	350	400	450	500
<i>TyD</i>	19,287	19,474	19,661	19,8504	20,039	20,23	21,195	23,2003	25,295	27,458	29,657	31,848	33,983
<i>DOWN</i>	1,057	1,025	0,995	0,967	0,941	0,915	0,809	0,657	0,554	0,477	0,418	0,369	0,328
<i>M-1</i>	24,696	24,6409	24,582	24,5704	24,455	24,387	24,005	23,041	21,834	20,416	18,822	17,099	15,3008
<i>TyDE</i>	20,708	20,908	21,1101	21,312	21,515	21,72	22,756	24,909	27,058	29,481	31,841	34,193	36,486
<i>M-2</i>	34,247	33,948	33,648	33,348	33,047	32,745	31,233	28,192	25,157	22,166	19,26	16,489	13,9004
<i>JOSS2</i>	0,003	0,0021	0,0015	0,001	0,0007	0,0005	0,0001	E-204					

ANEXO II

Matriz de resultados del segundo torneo

	Azar	TyD	Tx2D	Joss	Down	Fried	N-C	Ing	M-1	Tant	Tranq	D-R	Rever	TyDE	M-2	TyDA	Prem	Joss2	C-S	Lat	V-1	V-2	Rel	Rent
Azar	1122	1125	1576	1028	623	251	251	1532	268	1113	1105	261	1302	287	284	1415	1314	1095	1998	280	1492	1518	1231	991
TyD	1125	1500	1500	548	1497	1500	499	1252	1493	1499	1462	1500	1500	1500	1491	1500	1500	1255	1500	1265	1500	1499	1248	1495
Tx2D	924	1500	1500	1220	1490	1500	498	1192	768	750	1134	1500	1500	1500	760	1500	1500	1356	1500	795	1500	1497	1497	1490
Joss	1149	553	1414	529	1383	519	499	1327	1593	538	1215	1616	529	529	1661	1538	749	585	1599	1594	1107	1260	1271	1596
Down	1455	1497	1495	1131	502	502	498	1908	1497	1484	1497	506	1497	1497	1487	1497	1497	1366	2500	1497	1488	1484	1495	1502
Fried	1381	1500	1500	519	507	150	499	1906	539	507	1471	1500	1500	1500	539	1500	1500	512	1500	1499	1500	507	1497	1497
N-C	1536	504	508	504	508	504	500	1925	504	508	504	508	504	504	524	1500	504	504	2500	504	504	500	1500	1500
Ing	925	1257	1371	1137	148	204	144	1252	179	964	1294	1243	1264	1948	171	1467	1273	1136	1775	246	1386	1380	1409	693
M-1	1508	1493	1983	1351	1497	519	499	1900	1490	1499	1455	566	1496	1493	1491	1499	1500	1321	2470	1493	1980	1499	1493	1507
Tant	1153	1499	2000	533	1484	502	498	1506	1499	1000	1499	1658	1499	1499	280	1499	1499	1255	2000	1499	1499	1495	1499	1002
Tranq	1103	1464	1744	1063	1497	41	499	1259	50	1499	1256	1734	1465	1468	1491	1469	1463	1279	1744	198	1744	1499	1248	1495
D-R	1528	1500	1500	1325	506	1500	498	1354	521	978	1134	1500	1500	1500	1235	1500	1500	1356	1500	981	1500	1497	1496	1497
Rever	1075	1500	1500	709	1497	1500	499	1254	1491	1499	1465	1500	1500	1500	1003	1500	1500	1352	1500	1031	1500	1499	1496	1495
TyDE	1479	1500	1500	534	1497	1500	499	1461	1493	1499	1460	1500	1500	1500	1491	1500	1500	1254	1500	1265	1500	1499	1248	1495
M-2	1460	1491	1985	1334	1462	514	494	1917	1491	1490	1491	1260	1618	1491	1488	1622	1982	1341	2480	1491	1978	1975	1493	1125
TyDA	1002	1500	1500	1317	1497	1500	250	1190	1489	1499	1469	1500	1500	1500	1002	1500	1500	1331	1500	1031	1500	1499	1496	1493
Prem	1037	1500	1500	1948	1497	1500	499	1243	1490	1499	1463	1500	1500	1500	762	1500	1500	1346	1500	797	1500	1499	1496	1495
Joss2	1142	1260	1663	582	1651	512	499	1303	1343	1257	1348	1661	1537	1256	1568	1542	1544	1252	1598	1595	1591	1584	1248	1585
C-S	753	1500	1500	1352	0	1500	0	1088	45	750	1134	1500	1500	1500	30	1500	1500	1353	1500	795	1500	1497	1497	3
Lat	1490	1265	1970	1352	1497	329	499	1867	1493	1499	2353	1691	1616	1265	1491	1616	1967	1350	1970	1498	1970	1499	1494	1495
V-1	988	1500	1500	949	1488	1500	499	1176	770	1499	1134	1500	1500	1500	763	1500	1500	1362	1500	795	1500	1499	1492	883
V-2	1001	1499	1502	1087	1489	502	500	1180	1499	1500	1499	1502	1499	1499	765	1499	1499	1372	1502	1499	1499	500	1499	887
Rel	1094	1253	1502	1157	1490	257	250	1213	1498	1499	1253	1501	1501	1253	1488	1501	1501	1252	1502	1494	1502	1499	1498	1498
Rent	1173	1495	1495	1343	252	257	250	1646	267	997	1495	257	1495	1495	1120	1498	1495	1363	2498	1495	1168	1167	1498	1498

Resultados globales (se obtienen a partir de la matriz de resultados).

<i>LAT</i>	36536
<i>M-2</i>	36473
<i>M-1</i>	36002
<i>TyDE</i>	33182
<i>DOWN</i>	32784
<i>TyD</i>	32628
<i>TyDA</i>	32565
<i>REVER</i>	32365

<i>JOSS2</i>	32121
<i>PREM</i>	31821
<i>REL</i>	31461
<i>TANT</i>	31356
<i>D-R</i>	30900
<i>Tx2D</i>	30371
<i>V-1</i>	30302
<i>V-2</i>	30279

<i>TRANQ</i>	29772
<i>FRIED</i>	29380
<i>RENT</i>	28717
<i>JOSS</i>	26588
<i>C-S</i>	25297
<i>AZAR</i>	23462
<i>ING</i>	23216
<i>N-C</i>	19561

Generaciones sucesivas. Segundo torneo. Porcentaje de las estrategias en cada generación.

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
AZAR	4,1667	0,7514	0,05	0,0013	E-19													
TyD	4,1667	5,6076	6,4188	6,4863	5,9893	5,234	4,4391	3,704	3,0602	2,5109	2,049	1,6643	1,3461	1,0846	0,8706	0,6964	0,5551	0,4409
Tx2D	4,1667	3,4581	1,7567	0,5645	0,1232	0,0202	0,0027	0,0003	E-40									
JOSS	4,1667	1,9787	0,9008	0,4751	0,2989	0,2161	0,1729	0,1492	0,1366	0,1312	0,1311	0,1351	0,143	0,1546	0,17	0,1894	0,2134	0,2425
DOWN	4,1667	5,16	5,1756	5,0647	4,8763	4,6012	4,2868	3,9734	3,68	3,4128	3,1722	2,9565	2,7632	2,5899	2,4341	2,2939	2,1673	2,0526
FRIED	4,1667	2,6897	0,9384	0,2026	0,0302	0,0034	0,0003	E-34										
N-C	4,1667	0,2548	0,0058	0,0001	E-16													
ING	4,1667	0,7622	0,0547	0,0014	E-19													
M-1	4,1667	8,1702	11,7402	14,6168	16,8198	18,4948	19,7988	20,8417	21,6906	22,3867	22,9574	23,4229	23,7994	24,1005	24,338	24,5218	24,6606	24,7616
TANT	4,1667	4,2539	3,1288	1,6823	0,6683	0,2079	0,0541	0,0124	0,0026	0,0005	0,0001	E-52						
TRANQ	4,1667	3,0019	1,2095	0,282	0,0421	0,0047	0,0004	E-35										
D-R	4,1667	3,6188	1,9301	0,7217	0,206	0,0487	0,0102	0,002	0,0004	0,0001	E-46							
REVER	4,1667	5,1484	4,7423	3,326	1,8665	0,8992	0,3938	0,1622	0,0641	0,0245	0,0091	0,0033	0,0012	0,0004	0,0001	0,0001	E-76	
TyDE	4,1667	5,8949	6,7924	6,8638	6,3354	5,5344	4,6922	3,9139	3,2326	2,6515	2,1631	1,7564	1,4202	1,1439	0,9179	0,7339	0,5848	0,4644
M-2	4,1667	8,9471	14,6755	20,5294	25,3475	28,7932	31,1914	32,9154	34,2065	35,2009	35,9764	36,5807	37,0465	37,3983	37,6557	37,8347	37,9489	38,0094
TyDA	4,1667	5,3401	5,0419	3,5692	2,0063	0,9646	0,4208	0,1725	0,0677	0,0258	0,0096	0,0035	0,0012	0,0004	0,0002	0,0001	E-76	
PREM	4,1667	4,6015	3,4653	1,784	0,6666	0,1994	0,0518	0,0123	0,0027	0,0006	0,0001	E-53						
JOSS2	4,1667	5,2678	6,0771	6,6472	6,9557	7,0731	7,0931	7,0756	7,0491	7,0252	7,0079	6,9977	6,9939	6,9955	7,0013	7,0101	7,0208	7,0324
C-S	4,1667	1,3217	0,2048	0,0137	0,0004	E-23												
LAT	4,1667	9,0211	14,2735	18,2977	20,4388	21,2758	21,5152	21,5456	21,53	21,529	21,5614	21,6305	21,7338	21,867	22,0256	22,2054	22,4027	22,6144
V-1	4,1667	3,5095	1,8938	0,6466	0,1466	0,0245	0,0033	0,0004	E-40									
V-2	4,1667	3,8815	3,157	2,2243	1,3446	0,7175	0,3499	0,1598	0,0694	0,029	0,0117	0,0046	0,0018	0,0007	0,0003	0,0001	E-79	
REL	4,1667	4,8459	5,3214	5,6359	5,7306	5,6601	5,517	5,3581	5,2072	5,0713	4,9509	4,8445	4,7496	4,6642	4,5863	4,5141	4,4463	4,3818
RENT	4,1667	2,5129	1,0456	0,3633	0,1071	0,0271	0,006	0,0012	0,0002	E-45								

	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180
<i>TyD</i>	0,349	0,2753	0,2164	0,1695	0,1322	0,1027	0,0794	0,0611	0,0468	0,0357	0,027	0,0203	0,0152	0,0113	0,083	0,006	0,004	0,0031	0,0022
<i>JOSS</i>	0,2773	0,3187	0,3675	0,4249	1,4919	0,5701	0,6607	0,7655	0,8861	1,0246	1,183	1,3636	1,5686	1,8007	2,0622	2,3559	2,6841	3,0492	3,4529
<i>DOWN</i>	1,9484	1,8534	1,7664	1,6865	1,6117	1,5444	1,4807	1,4212	1,3652	1,3123	1,262	1,214	1,1677	1,1229	1,0793	1,0366	0,9945	0,9528	0,9113
<i>M-1</i>	24,8312	24,8744	24,8956	24,8987	24,8867	24,8623	24,8277	24,7849	24,7355	24,681	24,6228	24,5622	24,5001	24,4376	24,3755	24,3146	24,2555	24,1988	24,1446
<i>TyDE</i>	0,3675	0,2897	0,2276	0,1782	0,1389	0,1079	0,0834	0,0642	0,0491	0,0374	0,0283	0,0213	0,0159	0,0118	0,0086	0,0063	0,0045	0,0032	0,0023
<i>M-2</i>	38,0257	38,0053	37,9547	37,8792	37,783	37,6696	37,5419	37,4021	37,2521	37,0934	36,9272	36,7542	36,5752	36,3905	36,2002	36,0042	35,8021	35,5932	35,3766
<i>JOSS2</i>	7,0436	7,0535	7,0607	7,0641	7,0621	7,0533	7,0359	7,008	6,9674	6,912	6,8393	6,7468	6,6319	6,492	6,3249	6,1285	5,9011	5,6419	5,351
<i>LAT</i>	22,8379	23,071	23,3121	23,5596	23,8126	24,07	24,3313	24,596	24,8637	25,1341	25,4072	25,6827	25,9607	26,241	26,5234	26,8077	27,0937	27,3807	27,6682
<i>REL</i>	4,3195	4,2588	4,1989	4,1394	4,0798	4,0198	3,959	3,8971	3,834	3,7693	3,703	3,6349	3,5647	3,4923	3,4175	3,3402	3,2601	3,1771	3,091

	185	190	195	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	750	1000	
<i>TyD</i>	0,0015	0,001	0,0007	0,0005	E-225														
<i>JOSS</i>	3,8964	4,3797	4,9013	5,458	8,4982	10,9703	12,2101	12,6435	12,7453	12,7268	12,6614	12,5746	12,4771	12,374	12,2687	12,163	11,2695	10,7761	
<i>DOWN</i>	0,8698	0,8282	0,7865	0,7445	0,537	0,3567	0,2267	0,1427	0,09	0,0571	0,0364	0,0233	0,015	0,0097	0,0063	0,0041	0,0001	E-776	
<i>M-1</i>	24,0931	24,0443	23,998	23,9541	23,7673	23,6785	23,7252	23,8278	23,903	23,916	23,8584	23,7304	23,5345	23,2738	22,9517	22,5719	16,5767	9,8377	
<i>TyDE</i>	0,0016	0,0011	0,0007	0,0005	E-225														
<i>M-2</i>	35,1511	34,9155	34,6684	34,4087	32,9088	31,2118	29,5613	27,9953	26,4716	24,9726	23,4992	22,0573	20,6528	19,2904	17,9741	16,7071	7,0436	2,3899	
<i>JOSS2</i>	5,0296	4,6804	4,3076	3,917	1,9813	0,7134	0,2062	0,0547	0,0143	0,0038	0,001	0,0003	0,0001	E-435					
<i>LAT</i>	27,9554	28,2411	28,5246	28,8046	30,139	31,4532	32,9184	34,5301	36,2154	37,9344	39,6728	41,4253	43,1887	44,9597	46,7343	48,5081	65,1086	76,9963	
<i>REL</i>	3,0015	2,9087	2,8122	2,7122	2,1683	1,6161	1,1519	0,8059	0,5604	0,3894	0,2708	0,1887	0,1318	0,0924	0,0649	0,0457	0,0016	0,0001	