

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE FILOSOFÍA
Departamento de Filosofía del Derecho, Moral y Política II
(Ética y Sociología)



**JUEGOS EVOLUTIVOS Y CONDUCTA MORAL: UN
ANÁLISIS MEDIANTE SIMULACIONES
INFORMÁTICAS DEL SURGIMIENTO Y
JUSTIFICABILIDAD DE CONDUCTAS NO
MAXIMIZADORAS EN CONTEXTOS ESTRATÉGICOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Ariel del Río de Angelis

Bajo la dirección del doctor:
Pedro Francés Gómez

Madrid, 2007

ISBN: 978-84-669-3113-7

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE FILOSOFÍA

Departamento de Filosofía del Derecho, Moral y Política II (Ética y Sociología)

Juegos evolutivos y conducta moral

*Un análisis mediante simulaciones
informáticas del surgimiento y justificabilidad de conductas no
maximizadoras en contextos estratégicos*

TESIS DOCTORAL QUE PRESENTA D. ARIEL DEL RIO DE ANGELIS,
BAJO LA DIRECCIÓN DEL PROFESOR DR. D. PEDRO FRANCÉS GÓMEZ

Índice

Agradecimientos.....	5
0. Presentación y sumario.....	6
1. Introducción histórica	10
1.1. La teoría de juegos y el desarrollo del utilitarismo	10
1.1.1. Teoría de juegos.....	10
1.1.2. Utilitarismo.....	12
1.2. Teoría de la elección y juegos: origen y teoremas fundacionales	15
1.2.1. Von Neumann y el teorema minimax.....	15
1.2.2. Funciones de utilidad ordinales y cardinales.....	17
1.2.3. El autómatas celular y sus antecedentes.....	19
1.2.4. Nash, la noción de equilibrio y posteriores refinamientos (Harsanyi, Selten, Aumann).....	20
1.2.5. Resumen.....	26
1.3. Evolución y simulaciones	26
1.3.1. La evolución de la cooperación: el planteamiento clásico de Axelrod.....	26
1.3.2. Maynard Smith.....	29
1.3.3. Darwin.....	31
1.3.4. Gauthier y Danielson: agentes transparentes y maximización restringida.....	32
1.3.5. Skyrms: evolución biológica y cultural. Una ampliación de las simulaciones aplicadas a la teoría de juegos más allá del DP.....	38
1.3.6. Resumen.....	44
1.4. Recapitulación: del reto de Trasímaco a la “Filosofía moral experimental”	44
2. Definiciones y método de la investigación	47
2.1. Definiciones operacionales	47
2.1.1. Necesidad de un marco teórico.....	47
2.1.2. Acción racional.....	48
2.1.3. Moralidad como restricción imparcial del interés individual: ampliación del marco conceptual clásico.....	51
2.1.4. Exposición formal del concepto de “juego” y presentación del DP.....	54
2.1.5. Pagos materiales y funciones de utilidad.....	59
2.1.6. Agentes.....	69
2.2. Método	71

2.2.1. El método de las simulaciones informáticas.....	71
2.2.2. Evolución, racionalidad y decisión.....	84
3. Modelos informáticos de interacciones estratégicas.....	92
3.1. Las simulaciones en Axelrod, Danielson y Skyrms: características fundamentales y comparación con la herramienta <i>Bichos</i>	92
3.2. El autómata celular.....	97
3.2.1. Definiciones de términos relativos al autómata celular.....	99
3.2.2. Puntualizaciones sobre la noción de <i>vecindario</i>	101
3.3. Reglas de transición.....	104
3.3.1. Analogías entre reglas de transición y criterios de elección racional.....	104
3.3.2. Limitaciones de Replicator dynamics para simular la evolución cultural: reproducción <i>versus</i> imitación.....	110
3.3.3. Replicator dynamics e interacciones locales.....	114
3.4. Funciones de utilidad ordinales y cardinales: sentidos en que puede medirse la intensidad de las preferencias y su relevancia para la teoría de juegos <i>evolutiva</i>	119
3.5. Transparencia y translucidez como reputación.....	126
3.6. Razonamiento inductivo y sensibilidad en los agentes artificiales.....	133
3.7. Agentes transparentes y regresiones infinitas en situaciones estratégicas.....	139
4. Experimentos con modelos informáticos: la formalización de la teoría de juegos llevada a mundos virtuales.....	144
4.1. Introducción.....	144
4.2. Maynard Smith, halcones y palomas, y la “guerra de desgaste”.....	146
4.2.1. El juego del Gallina.....	149
4.2.2. Estrategias mixtas.....	150
4.2.3. Tres observaciones sobre el concepto de <i>estrategia mixta</i>	152
4.2.4. El equilibrio de Nash y el concepto de <i>Estrategia evolutivamente estable</i>	153
4.2.5. El juego del Gallina llevado al laboratorio virtual.....	156
4.2.6. Comentarios adicionales en relación con este experimento.....	158
4.3. Simulaciones del DP con las características ampliadas de <i>Bichos</i> : territorialidad, pagos continuos e influencia de las reglas de transición.....	161
4.3.1. Juegos <i>continuos</i>	162
4.3.2. Resultados de los experimentos.....	167
4.3.3. Recapitulación.....	177
4.4. Partir la tarta.....	178
4.4.1. Partir la tarta <i>a una sola jugada</i> (UJ).....	179

4.4.2. Partir la tarta <i>a varias jugadas</i> (VJ).....	193
4.4.2.1. Refinamientos del equilibrio de Nash.....	194
4.4.2.1.1. Equilibrio perfecto en subjuegos.....	195
4.4.2.1.2. Equilibrio bayesiano perfecto.....	197
4.4.2.2. Condiciones que definen el juego Partir la tarta <i>a varias jugadas</i> (VJ)....	203
4.4.2.2.1. Estrategias y pagos del juego.....	203
4.4.2.2.2. Conocimiento común.....	204
4.4.2.2.3. Iteraciones.....	204
4.4.2.2.4. Información completa pero imperfecta.....	204
4.4.2.2.5. Formación de reputaciones.....	205
4.4.2.2.6. Creencias iniciales.....	206
4.4.2.3. La sombra del futuro en Partir la tarta.....	207
4.4.2.4. Casos en los que sería necesario encontrar el equilibrio bayesiano perfecto	211
4.4.2.5. Racionalizaciones según el principio de concesión Zeuthen-Harsanyi	214
4.4.3. Experimentos con estrategias ilimitadas: aproximaciones al principio de concesión ZH.....	215
4.4.4. Sentido de definir <i>un</i> juego en la simulación.....	223
4.4.5. Resumen.....	224
4.5. El juego del Ultimátum.....	226
4.5.1. Introducción.....	226
4.5.2. Racionalidad modular, promesas, amenazas y el problema del cumplimiento (<i>commitment</i>).....	229
4.5.3. Diseñando agentes modularmente racionales.....	232
4.5.4. Resultados en las simulaciones de Skyrms, y concordancia en su reproducción con <i>Bichos</i>	235
4.5.5. Estudio analítico de los resultados obtenidos en la simulación del juego del Ultimátum.....	242
4.5.6. Un escenario evolutivo alternativo para explicar la estabilidad de disposiciones equitativas.....	247
4.6. Trust Game.....	251
4.7. La Caza del venado (<i>Stag Hunt</i>).....	263
4.7.1. Presentación.....	263
4.7.2. Un modelo del contrato social.....	266

4.7.3. Las simulaciones de Skyrms: sensibilidad de los equilibrios a la disposición espacial y las proporciones en los pagos.....	268
4.7.4. Simulaciones con el modelo ampliado de <i>Bichos</i>	275
4.7.5. Consideraciones finales: la salida del estado de naturaleza sin conocimiento común de la racionalidad.....	278
5. Evolución y filosofía moral.....	281
5.1. Evolución natural y reconstrucción evolutiva de las normas.....	281
5.1.1. Objetivo de la reflexión.....	281
5.1.2. Un punto de partida desde la biología y la teoría de juegos.....	282
5.2. Ser y deber ser.....	288
5.2.1. Hume.....	288
5.2.2. Moore y dos sentidos de la falacia naturalista.....	291
5.2.3. Una defensa de Mill.....	295
5.3. Qué puede aportar una teoría descriptiva a una justificación de la normatividad propia de la moralidad.....	300
5.4. Conclusión.....	306
6. Consideraciones finales: sentido de la investigación y perspectivas de las simulaciones como método a desarrollar en filosofía moral.....	314
Apéndice A. Funcionamiento y empleo de la aplicación <i>Bichos</i>	322
1. Procedimientos de decisión (estrategias) y decisiones (movimientos).....	322
2. Introducción general a los parámetros que definen una estrategia.....	323
3. Estrategias mixtas.....	328
4. Tipo de búsqueda y profundidad: cómo obtienen datos las estrategias.....	331
5. Tipos de sensibilidad: cómo las estrategias distribuyen su “atención”.....	335
6. Mutaciones.....	343
7. Matrices de pagos y juegos.....	345
8. Sincronización y sucesión de las jugadas.....	345
9. Modificación de la distribución inicial de estrategias.....	348
Apéndice B. Tablas de resultados.....	350
Dilema del prisionero.....	350
Caza del venado.....	355
Bibliografía.....	358

Agradecimientos

Esta tesis doctoral ha sido realizada con el apoyo económico de la Fundación Caja Madrid, mediante una beca doctoral en el área de Humanidades. Deseo expresar mi agradecimiento a esta institución, así como a las siguientes personas, por la ayuda que me prestaron para poder llevar a cabo este trabajo.

En primer lugar al Prof. Pedro Francés Gómez, no sólo en su condición de director de tesis, sino por el ánimo constante con que me ha motivado personalmente, tanto para dar inicio a este proyecto como para continuarlo a lo largo de varios años. Ni la puesta en marcha ni la conclusión de esta investigación habrían sido posibles sin el interés espontáneo, más allá de lo estrictamente académico, que ha mostrado por la misma. Su calidad como docente supo mostrarme el atractivo de las simulaciones con ordenador aplicadas a la teoría de juegos, además de proporcionarme una visión de los nuevos cursos que puede tomar en este sentido la reflexión ética. Posteriormente, como director, su esfuerzo y dedicación vertidos en esta tesis han sido indispensables para dar forma y orden a un conjunto de ideas que no siempre ha sido fácil estructurar, revisando pacientemente cada párrafo y sugiriéndome incontables mejoras sin las cuales esta tesis no habría sido completada.

A la Prof. Blanca Rodríguez López quiero agradecerle todo el tiempo y energías invertidos en la lectura y corrección de diversos borradores del capítulo 4. Su ayuda ha servido a la clarificación de numerosos puntos que me resultaba difícil exponer, además de dirigir mi atención hacia desarrollos recientes en teoría de juegos.

No puedo dejar de mencionar al Prof. Gilberto Gutiérrez López, por el modo tan ameno como riguroso con que me introdujo a la filosofía práctica y a la teoría de juegos, además del apoyo y la atención personal que me ha proporcionado siempre.

La inclusión de mis padres y amigos en estas palabras no responde sólo a una cuestión sentimental, por el estímulo que siempre me han prestado. A Salvador del Rio le debo todo el soporte “logístico” en una serie de tareas administrativas que por la distancia yo no podía emprender; y a Ana María de Angelis la aclaración de ciertos pormenores matemáticos decisivos en el desarrollo de la herramienta informática que es parte esencial de esta investigación. En este sentido quiero también agradecer la inestimable colaboración de David Checa Marín en aspectos técnicos relacionados con la programación de las simulaciones, y a Susanne Flux —no sólo por su paciencia diaria— sino también por sus servicios como “beta tester” y sus valiosas observaciones para mejorar el programa.

Finalmente, quisiera destacar la amabilidad y las facilidades que me brindó el Prof. Axel Honneth para acceder a la biblioteca de la Universidad Goethe de Frankfurt.

0. Presentación y sumario

La presente tesis doctoral parte de tres motivaciones. En primer lugar, la convicción de que la filosofía moral contemporánea no puede prescindir, al discutir sus problemas fundamentales, de las herramientas teóricas y metodológicas que nos proporciona la teoría de la decisión racional. Segundo, la ambición por realizar una aportación significativa en el campo específico de la teoría de juegos evolutivos; una teoría que además de su vertiente matemática, tiene aplicaciones muy importantes basadas enteramente en el desarrollo de modelos informáticos. Y en tercer lugar, la certeza de que tanto la preparación y diseño de las herramientas (el software que en su momento se presentará) como los experimentos virtuales, se insertan en una de las líneas de investigación en filosofía práctica más reconocibles internacionalmente, la más innovadora, y posiblemente la más prometedora atendiendo a su previsible contribución para aclarar, reformular e incluso solucionar algunos de los problemas clásicos de nuestra disciplina.

Se trata de un trabajo complejo, que requiere por ello una serie de aclaraciones. Por un lado, sobre la tradición en la que se inserta, una justificación de la metodología empleada y su relevancia para la filosofía moral. Por otro, el desarrollo y la explicación técnica de un programa informático (así como su defensa frente a otras opciones metodológicas). Finalmente, la preparación y ejecución de experimentos virtuales, así como la discusión de sus resultados respecto de la teoría de juegos, los conceptos de racionalidad y de moralidad, y el significado de éstos desde una perspectiva evolutiva. En conjunto, y pese a una apariencia por momentos demasiado “técnica”, el trabajo pretende ser una aportación intelectualmente honesta (y por eso mismo modesta) a algunas de las grandes cuestiones de la filosofía moral. Debido a esta complejidad su exposición no es fácil, y a lo largo de su realización han sido frecuentes las dudas sobre qué estructuración de los contenidos sería la más adecuada y útil para los lectores. El orden final que ha adoptado no carece de problemas, y por ello es conveniente comenzar con este sumario, que da cuenta de la disposición de los contenidos, distribuidos en seis capítulos y un apéndice principal.

El capítulo 1 es una introducción que presenta la historia de las teorías que conforman el objeto y el marco de esta investigación. Partiendo de la teoría de juegos, se examinan las conexiones de ésta con la tradición utilitarista (Bentham, Mill, Harsanyi) y neo-contractualista (Gauthier), por un lado, y con la biología en lo que concierne a la teoría de la evolución, por otro —orientación que da lugar desde los años 70 a la teoría de juegos evolutiva (Maynard Smith). Aunque la teoría de juegos es una construcción matemática puramente formal, se señalarán sus relaciones con la economía, ciencia en cuyo contexto tuvo y continúa teniendo sus desarrollos

más importantes como herramienta para el estudio de la conducta (von Neumann y Morgenstern, Nash, Harsanyi, Selten, Aumann, G. Becker, J. Buchanan, etc.) El tercer pilar teórico, aún más reciente, es el desarrollo de modelos para estas teorías con ayuda de simulaciones informáticas (Axelrod, Skyrms, Danielson). Así, se completa un cuadro en el que la teoría de juegos representa el punto de intersección donde confluyen áreas de conocimiento en principio muy dispares. Por un lado, la economía, que supone individuos perfectamente racionales pero estudia sujetos imperfectamente racionales; por otro, la biología evolutiva, cuyos sujetos no son en absolutos racionales, y finalmente la inteligencia artificial, cuyos agentes virtuales son modelos que pueden representar todo el espectro de posibilidades anteriormente indicado: desde la racionalidad más elaborada hasta la completa ausencia de ésta. Este recorrido histórico irá en cada caso mostrando las conexiones y relevancia de estos diversos enfoques para la filosofía moral.

En el capítulo 2 se presenta sistemáticamente el método y se definen los conceptos de los que nos valdremos en la investigación. Dado el papel central que juegan en la filosofía moral, se introducirán, interrelacionados entre sí, las nociones de racionalidad, moralidad, egoísmo y altruismo. A partir de éstas, por su relación con la teoría de juegos (convencional y evolutiva) nos centraremos en la idea de racionalidad como maximización de la utilidad. Ya en este marco más concreto de la teoría de juegos, abordaremos conceptos más técnicos, como función de utilidad, juego, estrategias, etc. Por otro lado, la segunda sección de este capítulo está dedicada a una reflexión sobre la función de los modelos en la ciencia. El objeto de esta reflexión es justificar la validez de las simulaciones como modelos, y de la teoría de juegos como una teoría apropiada para el estudio de las relaciones entre racionalidad y moralidad.

El capítulo 3 está enteramente dedicado a un detallado análisis teórico del funcionamiento de las simulaciones informáticas, así como definiciones precisas de los conceptos empleados en éstas. Aquí se incorpora en parte la descripción del programa elaborado para realizar las simulaciones de este trabajo, mientras se discuten otras herramientas semejantes empleadas por otros autores. Es, junto con el cuarto, el capítulo más técnico. No obstante, se ha evitado convertirlo en un conglomerado de tecnicismos, ajustándonos sólo a los pormenores imprescindibles para comprender el entramado de relaciones —anticipado en el capítulo primero— que se ponen de manifiesto en las simulaciones (relaciones entre teoría de juegos, evolución, racionalidad y moralidad). Por ello, el recorrido por diversos tipos de modelos informáticos va siempre acompañado de una discusión del tipo de problemas que intentan abordar, relativos al conflicto entre moralidad y racionalidad y al origen evolutivo de éstas. Por su condición de

herramientas, las simulaciones requieren una explicación precisa tanto del modo en que operan, como de las teorías y conceptos que subyacen a ellas, con el fin de que puedan ser utilizadas apropiadamente y, sobre todo, para que los resultados que ayudan a obtener puedan ser *contrastados*.

Hechas todas las precisiones del capítulo 3 —que incluye la defensa de nuestro propio programa de juegos evolutivos— la tarea del capítulo 4 se centra en la experimentación con dichos modelos y el análisis de sus resultados. Aunque se trata de experimentos virtuales, su validez habrá quedado probada en los capítulos 2 y 3, y aquí sólo resta representar adecuadamente una serie de situaciones que, formalizadas desde la teoría de juegos, son relevantes para la filosofía moral. Estas situaciones comprenden no sólo el célebre Dilema del prisionero (4.3) —caso clásico del conflicto entre maximización y cooperación—, sino otra serie de juegos que en un contexto evolutivo explican el origen (ya sea biológico o cultural) de algunas de nuestras intuiciones morales más básicas, ayudando además a concretar la exposición de algunos conceptos introducidos en capítulos previos. Así, el juego del Gallina (4.2) servirá para formalizar las nociones de estrategia mixta y estrategia evolutivamente estable. El estudio del juego conocido como Partir la tarta (4.4) tendrá por objeto, siguiendo a Skyrms, analizar el origen evolutivo de ciertas intuiciones acerca de la justicia distributiva, así como cuestiones relativas al problema de la selección de equilibrios y el concepto de conocimiento común (*common knowledge*). A continuación nos ocuparemos del juego del Ultimátum (4.5) empleado por Skyrms para presentar el concepto de “racionalidad modular” y elaborar un marco evolutivo en el que estrategias no maximizadoras puedan ser estables. Será una ocasión para probar la coincidencia de nuestro modelo con el de Skyrms, mostrando a la vez las nuevas posibilidades de nuestra herramienta mediante un escenario evolutivo que explica con más generalidad y menos supuestos las mismas conclusiones de Skyrms. El “Trust game” (4.6) es la formalización del dilema que surge cuando se requiere confianza mutua entre diversos individuos para alcanzar un beneficio común (el modelo informático de este juego presenta la peculiaridad de contar con dos tipos de agentes, que juegan papeles totalmente diferentes). Por último nos ocuparemos del juego de la Caza del venado (4.7), que a juicio de Skyrms es el más indicado para formalizar el problema que presenta Hobbes en su teoría del contrato social¹.

¹ Al inicio del capítulo 4 he incluido un índice más detallado de lo que aquí presento como una rápida enumeración.

El capítulo 5 contiene una discusión de lo que una perspectiva evolutiva podría aportar a la filosofía moral. Esta reflexión pasa no sólo por el utilitarismo —que sería el referente más inmediato dado el enfoque adoptado en esta tesis— sino que pone también la mirada en el otro gran paradigma de la ética moderna, que encontramos en la obra de Kant. El propósito es examinar diversos intentos de encontrar una justificación última para la moral, analizando qué puede ofrecer a esta cuestión una ética naturalista apoyada en los resultados de la teoría de juegos evolutiva.

El capítulo 6 es una breve recapitulación de la tesis, que menciona además una serie de aspectos que esta investigación puede retomar y ampliar en el futuro.

Hay que destacar el apéndice A, que podemos considerar un “manual de instrucciones” del programa empleado en las simulaciones (y que se adjunta en CD a esta tesis). No contiene una descripción pormenorizada de *todas* las posibilidades de la aplicación (cosa que sería virtualmente imposible), pero sí incluye las notas suficientes para comprender su funcionamiento y su uso, en lo relativo a los problemas abordados en este trabajo. A los diversos epígrafes de este apéndice nos remitiremos a lo largo de la exposición, para que el lector pueda en cualquier momento verificar ciertos aspectos técnicos que sería demasiado extenso desarrollar en el cuerpo del texto, o que podrían resultar redundantes para quien ya los conozca. El objeto principal de este apéndice es que quien tenga la curiosidad y el deseo de reproducir los experimentos —o también diseñar otros— pueda hacerlo por sí mismo. Finalmente, en el apéndice B se encuentra una serie de tablas con los resultados detallados de las diversas simulaciones analizadas en el capítulo 4. Estas mismas tablas están también en el CD, en formato Excel.

1. Introducción histórica

Este primer apartado estará dedicado a rastrear la historia de los temas y del método que emplearé en esta investigación. A la vez que un repaso histórico, no puede dejar de ser también una primera exposición esquemática de dicho enfoque y de diversos conceptos clave, que si hay que resumir bajo una sola etiqueta, cabe denominar “teoría de juegos evolutiva”.

Antes de comenzar es preciso indicar que la naturaleza del trabajo exigirá cierto esfuerzo al lector, pues las definiciones de los términos claves, así como el método adoptado, no son los habituales en una investigación de filosofía moral. En particular, respecto del funcionamiento y el uso de las simulaciones con ordenador, no es fácil hacer una exposición lineal que sea comprensible. Por ello las definiciones se posponen a menudo, y se hace inevitable retornar con frecuencia a temas ya introducidos, con el propósito de que al cabo se pueda comprender globalmente y del mejor modo, sin suponer en el lector conocimientos previos sobre teoría de juegos evolutiva o simulaciones informáticas.

1.1 La teoría de juegos y el desarrollo del utilitarismo

1.1.1 Teoría de juegos

Comenzando por la teoría de juegos, la entenderemos como “the study of conflicts of interest in which the value of a particular set of actions undertaken by a ‘decision-maker’ depends not only on his own choices but also on those of others”. En su momento tendremos ocasión de ver que este conflicto de intereses no tiene por qué ser siempre total, de modo que esta primera definición es simplemente aproximativa².

Originalmente pensada como herramienta para el estudio de interacciones económicas, la teoría de juegos pronto encontró también aplicación en el campo de la filosofía moral, dada la evidente importancia que para ésta tienen los problemas resultantes de intereses contrapuestos. La incidencia en el conflicto de intereses tiene sin duda su origen en el hecho de que la primera

² Esta definición está tomada de P. Hammerstein (1983, p. 378). Seguramente no es la fuente más célebre para tomar como punto de partida, pero delimita con precisión y concisión un modo bastante extendido de entender la teoría de juegos. Encontramos una definición similar en los preliminares de la obra clásica de R. Luce y H. Raiffa, *Games and Decisions* (cap. 1), la cual hace igualmente hincapié en el conflicto de intereses. Por mencionar brevemente una aproximación al concepto algo diferente, J. Harsanyi pone más el acento en la prosecución de los intereses propios, y no tanto en el conflicto entre éstos (aunque el conflicto esté presente en muchos casos). *Cfr.* Harsanyi, 1986. También Harsanyi, en otra introducción al concepto de “juego” (y por extensión a la teoría que se ocupa de ellos) destaca más la dependencia del resultado en función de la interacción mutua de dos o más jugadores: “[...] *game situations* (situations of strategic interdependence), in which the outcome depends on mutual interaction between two or more individuals, each of them pursuing his own interests [...]” por contraposición a “situations of *individual independence* (certainty, risk, und uncertainty), in which the outcome depends on the actions of only one individual (and possible on chance).” Harsanyi, 1977, p. 87.

axiomatización de esta teoría se encuentra en la obra de Von Neumann y Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behaviour* (1944), donde sólo se consideraban los llamados “juegos de suma cero”, esto es, aquellas situaciones en las que *todo* lo que un jugador gana, el otro lo pierde.

Para entender el sentido en el que hablamos de ganancias y pérdidas, es preciso asimismo dar una breve caracterización de lo que es un “juego”. Siguiendo también a Luce y Raiffa, podemos decir que un juego es aquella situación en la que “there are n players each of whom is required to make one choice from a well-defined set of possible choices, and these choices are made without any knowledge as to the choices of the other players. [...] Given the choices of each of the players, there is a certain resulting outcome which is appraised by each of the players according to his own peculiar tastes and preferences. The problem for each player is: what choice should he make in order that his partial influence over the outcome benefits him most?”³

Se trata por tanto de situaciones en las que al menos dos individuos *racionales* — normalmente denominados “agentes”— han de tomar decisiones, con la particularidad de que las consecuencias son producto de *todas* las acciones, y no de las de un solo agente. Con esta condición a la vista, cada agente intenta que los *resultados* le sean lo más favorable posible. La ganancia consiste, pues, en alcanzar estos resultados preferidos.

En este sentido, la teoría de juegos puede considerarse un caso particular de la teoría de la decisión, de tanta importancia para la economía, con la diferencia —como queda dicho— de que en esta última los agentes no necesitan tener en cuenta las decisiones *de otros* para alcanzar sus objetivos. En cualquier caso, ambas tienen en común el sustentarse sobre un concepto o supuesto central, el de la racionalidad individual, entendida como consecución de los intereses propios⁴. La teoría de la elección racional ha alcanzado un alto grado de formalización, especialmente a partir de von Neumann y Morgenstern, quienes establecieron una serie de axiomas, que con modificaciones menores en diversos autores, definen las condiciones que han de cumplir una decisión —y su antecedente, la *preferencia*— para ser racionales. Nos ocuparemos de estas condiciones en el epígrafe 1.2.1. Lo que es importante anticipar por el momento es que uno de los hilos conductores de este trabajo será examinar las limitaciones y paradojas que en algunos casos presenta esta noción de racionalidad, no sólo considerada a la luz de los imperativos morales que nos invitan a tener en cuenta también los intereses *de los demás* en aquellos casos de conflicto, sino ya por sí misma, cuando las prescripciones de la maximización egoísta conducen

³ Luce y Raiffa, 1957, pp. 5 – 6

⁴ Más técnicamente se denomina a esto “maximización de la utilidad”, según veremos pronto.

a un fracaso en la consecución de este mismo propósito⁵. Y desde una perspectiva meramente descriptiva, encontraremos otro punto de interés en aquellos casos en los que la conducta efectivamente observada en seres humanos reales, teóricamente racionales, se desvía de lo que predice la teoría.

Dicho de este modo, da la impresión de que hemos escogido un punto de partida equivocado. Adoptamos la teoría de juegos como herramienta matemática para el análisis de la conducta humana, destacando al mismo tiempo que se funda en una idea de racionalidad que puede generar conflictos con determinadas intuiciones morales o consigo misma. Justificar la adopción de esta herramienta corresponderá a la exposición del método utilizado para esta investigación (Capítulo 2), pero aquí puedo adelantar brevemente que el propósito no es “derrumbar” desde dentro esta construcción teórica, sino ampliarla o modificarla en los aspectos que sea preciso para superar esas contradicciones.

1.1.2 Utilitarismo

Que la teoría de juegos y la teoría de la elección racional en general planteen sus prescripciones en términos de maximizar la *utilidad* remite no por una casualidad terminológica a la doctrina filosófica conocida en su acepción más general como utilitarismo. No será necesario para esta investigación profundizar en sus variantes (utilitarismo del acto, utilitarismo de la regla) ni repasar todo el desarrollo que esta teoría ha conocido durante el siglo XX. Tampoco es el objeto de esta tesis discutir el pensamiento de sus fundadores, Bentham, Mill, Sidgwick —o más remotamente Hume— pero no podemos dejar de mencionarlos, en la medida en que introducen la propuesta de *medir* los niveles de satisfacción (utilidad) de los individuos. La teoría de juegos tiene en común con el utilitarismo clásico, como su heredera, la propuesta metodológica de la ciencia moderna, es decir, una comprensión de la realidad en términos básicamente cuantitativos. En este sentido, es la felicidad lo que se intentará abordar con procedimientos matemáticos. Por el contrario, dos son las diferencias básicas entre el utilitarismo y los análisis propios de la teoría de juegos.

En primer lugar, el término “utilidad” tiene en Bentham o en Mill un sentido sustantivo, definido por categorías psicológicas que no se dejan observar ni medir fácilmente, tales como “felicidad” o “placer”⁶, pese a caracterizaciones precisas de criterios para cuantificar estos conceptos, como el cálculo hedónico de Bentham, que al evaluar el placer tiene en cuenta

⁵ Este carácter contraproducente de la racionalidad maximizadora es lo que Parfit denomina “self-defeating”. *Cfr.* Parfit, 1991.

⁶ *Cfr.* Mill, 1994, cap. 2.

factores tan diversos como su intensidad, duración, grado de posibilidad, proximidad, fecundidad, pureza y número de personas afectadas.⁷ Por si fuera poco, en su intento de depurar la doctrina utilitarista, Mill diferenció posteriormente entre cantidad y calidad de los placeres, con lo cual el proyecto de un cálculo se volvía aún más complicado, si no imposible.

[...] está justificado que asignemos al goce preferido una superioridad de calidad que exceda de tal modo al valor de la cantidad como para que ésta sea, en comparación, de muy poca importancia.⁸

La ciencia económica fue por ello alejándose de este modo de entender la utilidad, hasta despojarla de su carácter objetivo, presente en los sujetos como estados mentales, convirtiéndola en una mera medida: una medida de la preferencia. Seguramente una de las claves para proceder a esta reducción se encuentra en Pareto y la noción de optimalidad que lleva su nombre:

In the work of the first generation of the new economist, there was no systematic account of *social* choice based on these principles [principios utilitaristas] [...] Jevons admired Sidgwick [...] and the new political economy was seen by both men [...] as something that could be fitted inside Sidgwick utilitarianism. But it was no long before it occurred to economists that a minimalist social choice principle was possible, in the form of the famous Pareto principle put forward by Vilfredo Pareto in 1897. [...] A social arrangement of any kind was ‘optimal’ or ‘efficient’ if no alternative arrangement existed which would be judged no worse by all participants, and better by at least one of them. The importance of the Pareto principle is that it avoids interpersonal comparisons of utility, for the social states are to be judged by the participants according to their own, incommensurable standards of utility.⁹

Además, puesto que al concepto de “preferencia” es difícil desligarlo de toda connotación introspectiva, el concepto de “preferencia revelada” vendría finalmente a centrar todo el sentido del concepto en las acciones observables, omitiendo cualquier referencia a estados mentales de los sujetos. La idea de que la preferencia se manifiesta en la elección tiene su origen en Samuelson, quien explícitamente se propuso con ello “dropping off the last vestiges of the utility analysis”¹⁰. Este proyecto conductista garantiza observaciones y mediciones objetivas, pero tiende a vaciar las propias nociones de “preferencia” y de “utilidad” hasta hacerlas tautológicas, en la medida en que por definición, si lo preferido es aquello que de hecho se hace, resulta imposible actuar en contra de las preferencias propias, con lo cual *siempre* estamos maximizando la utilidad. Con su origen en la teoría del consumo, este concepto de la preferencia revelada es

⁷ Cfr. Bentham, 1998, cap. 4.

⁸ Cfr. Mill, 1994, p. 49

⁹ Tuck, 1993, p. 75

¹⁰ Samuelson, 1938, p. 62

central en una teoría más general de la racionalidad práctica. Y sin embargo, en 2.1.3 tendremos ocasión de ver cómo la teoría de juegos, aun siendo parte de la teoría de la racionalidad práctica, necesita operar con un concepto de preferencia que se manifieste no sólo en, sino también *antes* de la acción efectiva.

La segunda diferencia consiste en que lo que el utilitarismo busca maximizar es la utilidad *colectiva*, esto es, la felicidad de todos los seres humanos (o incluso la de todos los seres sintientes). La teoría de la elección y la teoría de juegos, por el contrario, giran en torno a la maximización individual. Ello no sólo por las dificultades ya mencionadas a la hora de comparar niveles de utilidad de diferentes, sino de manera más fundamental debido a la imposibilidad de construir una función de bienestar social, tal como probó Arrow en su conocido teorema, que garantice el cumplimiento de una serie de condiciones razonables¹¹ (que no requieren en absoluto la comparación intersubjetiva de la utilidad: según se desprende del principio de independencia de alternativas irrelevantes).

Cada agente, pues, sólo se preocupa por satisfacer del mejor modo posible *sus* intereses, sin considerar las preferencias ajenas más que en la medida en que éstas sean parte relevante del cálculo para la maximización de la utilidad propia. A menos que se entienda el egoísmo como una doctrina ética, la teoría de juegos no es por tanto una teoría moral.

Se puede reconocer así una dirección en la que se abandonan los conceptos psicologistas o sensualistas del utilitarismo clásico, por un lado, y los intereses colectivos, por otro, hasta llegar a una teoría de la decisión puramente individual, con el célebre *homo economicus* como protagonista. Pero hay otra dirección —de “retorno”, podríamos decir— en la que los filósofos morales se valen de la precisión y los formalismos matemáticos de la teoría de juegos para abordar problemas éticos con el grado de objetividad del que carecía el utilitarismo en sus inicios. El punto de partida en este sentido se encuentra en el título clásico de Braithwaite, *Theory of Games as a Tool for the Moral Philosopher* (1954). Entre estos filósofos debemos mencionar también a Gauthier, y especialmente Harsanyi, por su intento de rescatar el proyecto clásico de crear una función de utilidad social, esto es, maximizar del mejor modo posible las preferencias no de un solo individuo (cada uno de la suya) sino el bienestar de una sociedad en su conjunto.

¹¹ Cfr. Arrow, 1951

1.2 Teoría de la elección y juegos: origen y teoremas fundacionales

1.2.1 Von Neumann y el teorema minimax

A efectos de trazar una breve historia de esta teoría, ya hemos indicado que la referencia inicial obligada nos remite a la axiomatización de Von Neumann y Morgenstern en *The Theory of Games and Economic Behavior* (1944). Gracias a una mayor generalización, este título representa la culminación de la primera contribución de Von Neumann, el llamado “teorema minimax”¹², con el cual demostraba que para cualquier juego de suma cero e información completa existe una estrategia para cada jugador que les permite a ambos optimizar sus resultados: maximizar sus ganancias, para uno, y minimizar sus pérdidas, para el otro (pues se trata siempre de juegos de suma cero) todo ello, por supuesto, restringido a su vez por las decisiones del otro jugador. Más técnicamente, una estrategia es un plan de acción que especifica “what [the player] would do in each situation which might arise in the play of the game”¹³. Éste es el sentido habitual del término, pero en la presente investigación “estrategia” significará a menudo no un plan de acción a escoger, sino una regla o algoritmo para seleccionar dichas decisiones o planes¹⁴.

Esta idea de una “mejor respuesta” para cualquier decisión que tome el otro es un antecedente o un caso particular de otra idea aun más general de equilibrio, que posteriormente llevará el nombre de Nash y que, como pronto veremos, tendrá su analogía evolutiva en el concepto de “estrategia evolutivamente estable”¹⁵. Entre 1928 y 1944 von Neumann y Morgenstern fueron ampliando el alcance de este teorema, extendiendo su validez a juegos de información imperfecta y más de dos jugadores (aunque en estos casos, las soluciones sólo las consideraban como resultados de coaliciones), e introdujeron también el concepto de estrategia mixta, esto es, una combinación de estrategias jugadas al azar, para aquellos casos en que no hay una única respuesta óptima (o estrategia dominante).

¹² Cfr. von Neumann, 1928

¹³ Cfr. Luce y Raiffa, 1957, p. 51. La referencia a *cada situación* que pudiese presentarse en el juego es en consideración de los juegos con más de un movimiento (pensemos por ejemplo en el juego “tres en raya”). En él, cada jugador tendría que especificar por adelantado qué haría en cada caso, considerando todas las ramificaciones que puede ofrecer el juego, según los jugadores vayan dibujando cruces o círculos en una u otra de las nueve casillas. Así, aunque los movimientos son múltiples y sucesivos, en teoría de juegos se entiende que cada jugador escoge desde el principio *una única* estrategia, aunque éstas, por lo demás, sean muy numerosas. En el juego de tres en raya, por ejemplo, el número de estrategias disponibles para cada jugador al inicio del juego es en principio 9! (habría que descontar los movimientos que ya no pueden ser efectuados porque alguno de los jugadores ha ganado y el juego por tanto ha finalizado). Sin embargo, la mayoría de los juegos que nos interesarán cuentan en su forma “clásica” con pocas estrategias (casi siempre 2) que coinciden con la elección de un único movimiento (cooperar o defraudar, por ejemplo). Una introducción clara y sencilla al concepto de estrategia se puede encontrar en Resnik (1987, pp. 18, 121 – 127).

¹⁴ En esta introducción empleo el concepto de estrategia en su sentido clásico, y especificaré los casos en que adquiera el otro significado.

¹⁵ Cfr. *Infra* 1.3.2

Es igualmente importante la caracterización formal de las condiciones que ha de cumplir una preferencia para que sea considerada *racional*. Estas condiciones fueron recogidas posteriormente por numerosos autores, pero pese a diferencias menores en cuanto a su formulación, las podemos sistematizar del siguiente modo.

Definimos *P* como “preferible a” e *I* como “indiferente a”. Los diferentes resultados que se pueden obtener a consecuencia de una acción se indicarán como A, B, C, etc. (estos resultados son *estados de cosas* en el mundo). Con *p* denotaremos un cierto grado de probabilidad atribuido al hecho de que alguno de los resultados sea el caso: $p(A)$, $p(B)$, etc. Evidentemente esta asignación de probabilidades es necesaria para tratar aquellas situaciones de incertidumbre, esto es, aquellas en las que no se conoce con certeza cuáles serán los resultados de una acción. Por ello nos referiremos también a loterías (X, Y, Z) que combinan diferentes estados de cosas como posibles resultados. Las condiciones que debe satisfacer una preferencia para que sea racional son¹⁶:

- 1) Completud. Dado un par de opciones, A y B, tiene que ser posible ordenarlas en una misma escala, de modo que alguna sea preferible a la otra, o que ambas sean indiferentes. $(A P B) \vee (B P A) \vee (A I B)$.
- 2) Transitividad. Si A es preferible a B, y B es preferible a C, entonces A es preferible a C. $[(A P B) \wedge (B P C)] \rightarrow (A P C)$
- 3) Monotonicidad. Dadas dos loterías, X e Y que contienen respectivamente los siguientes resultados: $X = [p(A), 1 - p(B)]$, $Y = [p(C), 1 - p(B)]$; si *p* es igual en ambas loterías, y si $A P C$, entonces la lotería X es preferible a la lotería Y.
- 4) Continuidad. Si A es preferible a B y B es preferible a C, tiene que existir algún grado de probabilidad *p* (siendo $1 > p > 0$) que al determinar una lotería X compuesta por los resultados A y C, el valor esperado de esta lotería sea igualmente preferible a la obtención segura de B. $[(A P B) \wedge (B P C)] \rightarrow \exists p / [A \cdot p + C \cdot (1 - p)] I B$.

Exposiciones más detalladas y precisas de estas condiciones, con la discusión de ciertas objeciones y paradojas a las que dan lugar ocasionalmente, se pueden encontrar en Luce y Raiffa (*Games and Decisions*, capítulo 2), Gutiérrez (*Ética y decisión racional*, capítulo 4), Resnik (*Choices*, capítulo 4) o Gauthier (*La moral por acuerdo*, pp. 63 – 71).

En estos autores a los que me acabo de referir, el elenco de estas condiciones se encuentra en el marco de la teoría de la utilidad. En particular, la última condición (continuidad) supone que es posible medir la *intensidad* de las preferencias, y no sólo su *orden*, lo cual nos conduce a los conceptos de función de utilidad *ordinal* y función de utilidad *cardinal*. El concepto de

¹⁶ Cfr. von Neumann y Morgenstern, 1947, pp. 26 – 27.

utilidad cardinal es en cierto modo incómodo para el enfoque económico, por cuanto una referencia a la *intensidad* de las preferencias amenaza con introducir inadvertidamente cierta dimensión psicológica que nos devolvería al concepto clásico de utilidad (Bentham, Mill). A esta discusión me referiré en el próximo epígrafe, por el debate que se prolonga hasta hoy acerca del sentido y la necesidad de considerar la dimensión cuantitativa de las preferencias.

1.2.2 Funciones de utilidad ordinales y cardinales

La atención prestada por von Neumann y Morgenstern a ciertos casos donde las decisiones han de tomarse en situaciones de incertidumbre acerca de los acontecimientos futuros requiere hacer uso de la noción de “utilidad esperada”, que por su parte rehabilita el concepto de función *cardinal* de utilidad. Una función cardinal de utilidad (y no sólo ordinal) permite establecer no sólo el orden de preferencias de un agente, sino también la *intensidad* de las mismas. La idea de que preferimos A a B *más o menos* intensamente que B a C es relativamente intuitiva. No obstante, este carácter intuitivo no puede ser una justificación del concepto por cuanto corre el riesgo de ser un regreso a connotaciones introspectivas de la noción de utilidad. Pese a todo, considerada como una mera *medida*, representaba un nuevo punto de partida para retomar el proyecto utilitarista de un cálculo de utilidad social, con la ventaja de abandonar el psicologismo que caracterizaba la noción clásica de utilidad desarrollada por Bentham y Mill. La primera etapa de este proceso se encuentra en F. Edgeworth, quien elabora el concepto de “curva de indiferencia”¹⁷, introduciendo así un método para ordenar con precisión la utilidad que cierto conjunto de bienes proporcionaría a un agente, sin necesidad de recurrir a la *intensidad* o magnitud de dicha utilidad.¹⁸ Posteriormente, y como ya hemos indicado en 1.1.2, Pareto insistiría en centrar el análisis en la propia noción de preferencia, dejando la idea de utilidad como una mera *representación* o medida ordinal de aquella.

Para quien no esté familiarizado con estos conceptos no resulta vano insistir en este punto, porque incluso autores que sí aceptan las funciones cardinales de utilidad (por ejemplo Gauthier, entre los más destacados para esta investigación) reiteran que la utilidad es tan sólo una *medida* de la preferencia. Y en este sentido, frente a las formulaciones clásicas del concepto de utilidad, es importante no dejarse “alienar” por esta posibilidad de *medir*, que fácilmente conduce nuevamente a una “cosificación” de la utilidad. Al respecto advierten Luce y Raiffa:

¹⁷ Cfr. Edgeworth, 2003

¹⁸ Para una exposición más detallada de la historia del concepto de utilidad, véase Gilberto Gutiérrez (2004, pp. 32 – 39).

In this theory it is extremely important to accept the fact that the subject's preferences among alternatives and lotteries came prior to our numerical characterization of them. We do not want to slip into saying that he preferred A to B because A has the higher utility; rather, because A is preferred to B , we assign A the higher utility. [...] The point is that there is no need to assume, or to philosophize about, the existence of an underlying subjective utility function.¹⁹

Aunque existe un acuerdo sobre este punto (la prioridad de la preferencia sobre la utilidad como su medida), la idea de una función cardinal de utilidad, y mucho más la posibilidad de realizar comparaciones interpersonales de utilidad, es puesta hasta hoy en entredicho. Sin embargo, no son pocos los autores que han visto en la noción de utilidad cardinal una herramienta de análisis válida (von Neumann y Morgenstern, Friedmann, Savage o Harsanyi, por mencionar a los más importantes).

La idea de “utilidad esperada” es necesaria para *ordenar* preferencias en casos de incertidumbre: si por ejemplo un billete de lotería cuesta 1\$, y con él tenemos una posibilidad entre 10.000 de ganar un premio de 50.000\$ en principio no es posible saber si vale la pena o no jugar a esta lotería. Para decidir esta cuestión hay que pensar que si no jugamos, no ganaremos ni perderemos nada. Decimos, pues, que la utilidad de no jugar es 0\$. Esta utilidad no es en sentido estricto *esperada* porque sabemos con seguridad lo que ocurrirá si no jugamos. Podría decirse que es un caso extremo de utilidad “esperada”, en el cual la probabilidad de no ganar ni perder nada es = 1. Pero en el caso de que compremos el billete de lotería, sí tiene sentido hablar de utilidad *esperada*, que sería el resultado de considerar las posibles ganancias/pérdidas multiplicadas por la probabilidad de que ocurra una u otra cosa (en este caso, que nos toque o no el premio). Así, al jugar, estamos perdiendo \$1 (lo que nos costó el billete) con probabilidad 0,9999 y estamos ganando 49.999\$ (el premio menos \$1 que nos costó el billete) con probabilidad 0,0001. Se dice entonces que la utilidad *esperada* de jugar a esta lotería es $(0,9999 \cdot -1) + (0,0001 \cdot 49.999) = 4$. La ganancia (utilidad) esperada de esta lotería es 4\$. Puesto que $4 > 0$ ($0 =$ no jugar, ni ganamos ni perdemos), un agente racional decidiría jugar a esta lotería.

Modificando las probabilidades de que toque el premio, o bien la cantidad del mismo, o el precio del billete, la utilidad esperada de jugar a la lotería podría ir aumentando o disminuyendo respecto del valor que hemos considerado en este ejemplo ($u = 4$)²⁰. Especialmente si pensamos, por ejemplo, casos extremos en los que u fuese -1000 \$ o $+1000$ \$, podemos ver que

¹⁹ Luce y Raiffa, 1957, pp. 22 – 32

²⁰ Empleando una notación habitual, indico a partir de ahora la utilidad esperada como u .

no sólo es posible ordenar opciones más o menos preferibles en casos de incertidumbre, sino que también podemos decir que una lotería que proporciona $u = 1000\$$ es *mucho* más preferible con relación a otra que ofrece $u = 5\$$, que la misma lotería de $u = 1000\$$ en relación con otra que ofreciese casi lo mismo ($u = 999\$$, pongamos por caso)²¹.

Sin embargo, los críticos de la utilidad cardinal argumentan que cuando dejamos de identificar la utilidad con aquello de lo cual la utilidad es la medida (dinero, en este ejemplo) deja de tener sentido pensar *cuánto* más preferible es una opción a otra. Pese a todo, lo cierto es que la idea de que existen grados en las relaciones de preferencia, y la formalización de esta intuición “psicológica” mediante una serie de axiomas, es fundamental para la teoría de juegos, y según veremos, más aún para la teoría de juegos evolutiva.

Esta exposición somera de los conceptos de utilidad ordinal y cardinal será suficiente para el propósito de este capítulo. Por el momento sólo se trata de introducir ciertos términos a fin de permitir una comprensión de los mismos por referencia a su origen y desarrollo histórico. Estas primeras nociones servirán para orientar al lector cuando posteriormente requieran una discusión más detallada, según vayan apareciendo en la investigación.

1.2.3 El autómata celular y sus antecedentes

Este breve epígrafe será una digresión dentro de lo que es el recorrido histórico por la teoría de juegos, y pertenecería en rigor al apartado dedicado a los orígenes de los modelos informáticos (1.3). Sin embargo, cabe situarlo aquí en relación con von Neumann, a cuya obra nos venimos refiriendo. Sin duda Von Neumann debe mayormente su celebridad a esta primera formalización de la teoría de juegos (además de diversas publicaciones sobre física y matemáticas, o su contribución al desarrollo de los primeros computadores electrónicos). No obstante, es mucho menos conocido por otra aportación que es fundamental para el presente trabajo y para la simulación de sistemas dinámicos en general: el artificio cibernético conocido como “autómata celular”, del cual nos ocuparemos extensamente en el capítulo 3. Así pues, sin entrar en sus detalles, la idea que perseguía von Neumann con el llamado autómata celular es la de una máquina capaz de replicarse a sí misma. Este objetivo lo recogerá Conway a principios de

²¹ Este procedimiento de las loterías (iniciado por von Neumann y refinado por Harsanyi) permite la cardinalización porque si suponemos que los agentes son capaces de ordenar no sólo estados de cosas, sino loterías entre estados de cosas cualesquiera —lo que hay que suponer para introducir el concepto de utilidad esperada— entonces es posible convertir cualquier orden de preferencias en una ordenación que establezca “intervalos”, situando cada estado de cosas x a una distancia precisa —fija para una preferencia dada— de otros dos estados de cosas (uno más preferido que x , otro menos). Dado un orden de preferencias expresado por la utilidad que el agente asigna a los estados de cosas, tal que $u(x) > u(y) > u(z)$, siempre hay una lotería entre dos estados de cosas (y, z) tal que su utilidad esperada es igual a la utilidad de un tercer estado de cosas x , obtenido éste con seguridad (probabilidad = 1). Esto permite situar z e y por relación a x , en función de la probabilidad que haya que asignarles para igualar las utilidades esperadas. Esta posibilidad de combinar en loterías diversos objetos de preferencias es en último término la condición de *continuidad* necesaria para que un orden de preferencias sea coherente.

los 70 en su célebre “Game of Life”, donde dichas máquinas son las celdas de un retículo ortogonal —representado en un ordenador— que van cambiando sus estados (vivo o muerto, 1 o 0) en función de los estados previos de sus vecinos. Estos cambios responden a reglas puramente mecánicas, de extremada simplicidad, conocidas como “reglas de transición”²². Análogamente a los primeros experimentos de Axelrod, el interés del autómatas de Conway reside en ver cómo a partir de un juego y unas reglas muy simples pueden surgir patrones de una complejidad en principio imprevisible, y difícilmente tratable mediante formalismos matemáticos. El autómatas celular no es por sí mismo —aunque puede serlo en casos puntuales— un modelo del tipo de situaciones estratégicas estudiadas por la teoría de juegos, pero la representación en una grilla es ideal para simular el *espacio* o los *vecindarios* donde tienen lugar las interacciones entre agentes. Por ello esta estructura se ha convertido casi en un estándar para las simulaciones evolutivas vinculadas a la teoría de juegos, *cuando lo que se pretende considerar es la influencia de las relaciones de vecindad en los procesos evolutivos*. Por otra parte, el modo puramente mecánico y determinista en que se producen los cambios de un estado a otro del autómatas es también especialmente apropiado para representar procesos como la selección natural.

1.2.4 Nash, la noción de equilibrio y posteriores refinamientos (Harsanyi, Selten, Aumann)

En este avance constante hacia formas de pensamiento cada vez más generales (una tendencia ineludible de la razón, diríamos con Kant²³), encontramos el siguiente escalón en las obras de J. Nash y J. Harsanyi, cuyas aportaciones han resultado decisivas no sólo para la economía en general, sino para la teoría de juegos en particular, y en consecuencia para el análisis de la conducta humana mediante esta herramienta teórica. En dos breves artículos publicados en 1950 Nash da a conocer su célebre teorema²⁴, en el cual generaliza las conclusiones de von Neumann, probando que éstas son válidas para cualquier juego con un número finito de jugadores y estrategias, pero además *no sólo para juegos de suma cero*²⁵. Estas conclusiones dan lugar al famoso equilibrio que lleva su nombre, definido como un conjunto de estrategias, cada una de las cuales es la mejor respuesta para cada jugador, dadas las mejores respuestas de los demás.

²² Por poner un ejemplo: si la mitad o más de los vecinos de la celda x están “vivos”, entonces x estará también “viva” en la generación siguiente. Caso contrario, su estado pasa a 0 (“muerta”). Para comprender mejor los pormenores del juego, es recomendable visitar la dirección www.bitstorm.org/gameoflife/, que contiene enlaces a explicaciones detalladas del juego y su historia, así como versiones del mismo, tanto para jugar en línea como para descargar. En general, en la red pueden encontrarse infinidad de introducciones, estudios y software relacionados con este juego.

²³ *Cfr.* Kant, 1993, A 305

²⁴ *Cfr.* Nash, 1950a y 1950b

²⁵ Por ejemplo, el dilema del prisionero (DP) es un juego de suma no cero.

Su prueba de la existencia de un equilibrio (puro o mixto) para cualquier juego con un número finito de jugadores y un número finito de estrategias, es de gran importancia a la hora de comprender cómo “actúan” los agentes artificiales de las simulaciones que presentaré en este trabajo. Este punto, el equilibrio de Nash, representa el resultado de un juego cuando en él intervienen agentes perfectamente racionales. Aunque en ciertos juegos puede haber más de un equilibrio de Nash, siempre se caracterizan por ser un resultado producto de las decisiones de los jugadores, cumpliéndose que ningún jugador puede mejorar sus resultados cambiando de estrategia.

Ahora bien, los agentes artificiales no tienen por qué tomar decisiones siguiendo este criterio: esto sería una petición de principio, pues no partimos de la racionalidad, sino que queremos llegar evolutivamente a ella. Pero tiene que existir la *posibilidad* de que lo hagan, y esto es precisamente lo que ocurre en la simulación: dentro del abanico enorme de posibles reglas de comportamiento, sólo unas pocas son racionales en este sentido delimitado por la teoría heredada. En principio, puede incluso que ninguna sea racional, pero cuentan con la posibilidad de ir transformándose hasta llegar a serlo. El interés de las simulaciones consiste en observar cómo unos agentes en absoluto racionales acaban comportándose como si lo fuesen, alcanzando en sus interacciones la versión “evolutiva” del equilibrio de Nash, que como había mencionado se encuentra en el concepto de “estrategia evolutivamente estable”²⁶. Dicho sea de paso, es importante notar que tampoco los agentes reales adoptan siempre —en ciertas situaciones ni siquiera la mayoría de las veces— las estrategias óptimas que prescribiría o predeciría el teorema de Nash.

Por otra parte, Nash dio un nuevo enfoque al estudio de las relaciones entre los llamados juegos no cooperativos y juegos cooperativos. Será precisamente Harsanyi quien refinará estos conceptos, culminando el proyecto inicial de Nash, a saber, mostrar que los juegos cooperativos pueden reducirse en último término a juegos no-cooperativos. Es importante dedicar un momento a recordar la diferencia entre ambos tipos básicos de juegos y entender el programa de Nash, así como la relación de éste con el proyecto de la teoría evolutiva, en la que se enmarca mi propio proyecto en esta tesis.

Dicho muy resumidamente, en los juegos cooperativos los participantes pueden comunicarse y negociar lo que sería una solución óptima para ambos, mientras que en los no cooperativos, cada uno debe tomar sus decisiones individualmente. Y lo que es más importante, en los juegos cooperativos los jugadores son capaces de *vincularse* a las decisiones que resultan de sus acuerdos (o promesas, amenazas, ofertas, etc.)²⁷. Esta distinción tiene para nosotros un

²⁶ La definición de este concepto se encuentra en el apartado 1.3.2 de esta exposición.

²⁷ Véase por ejemplo Binmore (1990, p. 43) y Harsanyi (1986, p. 92).

valor adicional, en el sentido de que permite comprender mejor cómo los diversos juegos considerados están definidos con total precisión por la distribución de los pagos (resultados) en función únicamente de las decisiones de los participantes, sin contar con eventualidades “externas” a esta estructura. La correcta comprensión de este punto permite ver cómo muchas presuntas soluciones de conflictos (juegos) son en realidad una *disolución* de los mismos; una disolución que siguiendo a Parfit podríamos denominar “soluciones políticas”²⁸, pero que dejan sin embargo intacto lo que el mismo autor llama “el problema moral”, esto es, la cuestión de si podría estar justificado, para un agente racional, elegir una conducta diferente de la maximización individual directa.

De un modo algo diferente, el propio Nash explica su propósito en los siguientes términos:

By a cooperative game we mean a situation involving a set of players, pure strategies and payoffs as usual; but with the assumption that the players can and will collaborate as they do in the von Neumann and Morgenstern theory. This means the players may communicate and form coalitions which will be enforced by an umpire. It is unnecessarily restrictive, however, to assume any transferability or even comparability of the payoffs [which should be in utility units] to different players. Any desired transferability can be put into the game itself instead of assuming it possible in the extra-game collaboration.²⁹

Aunque los juegos cooperativos no tendrán cabida en las simulaciones de las que nos valdremos, los resultados alcanzados en estos juegos son interesantes en el sentido de que representan a menudo la solución que intuitivamente consideraríamos justa. Así, por ejemplo, la solución del DP, entendido como juego cooperativo (que por definición ya no sería entonces un DP) es la cooperación mutua. El llamado “programa de Nash” viene precisamente a mostrar que el proceso de negociación propio del juego cooperativo puede integrarse en un juego no cooperativo, como parte de éste. Además de sus implicaciones para la economía, la importancia de esta reducción es que permite hallar acuerdos aceptables para individuos racionales con intereses enfrentados, sin tener que recurrir a las llamadas soluciones políticas, y sin suponer ninguna noción moral previa por la cual dichos individuos estuviesen inclinados a tener en consideración los intereses ajenos. En el capítulo 4.4 presentaré un modelo informático de lo que sería un proceso de negociación, en el cual una dinámica evolutiva conduce a una solución análoga a la que propone Nash para este tipo de problemas.

²⁸ Cfr. Parfit, 1991, pp. 13 – 14.

²⁹ Nash, 1951, p. 295.

En este sentido es interesante apreciar la analogía que se presenta cuando evolutivamente se llega a un resultado cooperativo de este dilema, sin que el punto de partida sea un juego cooperativo, es decir, sin que los agentes puedan comunicarse o negociar en sentido estricto hasta que la estructura del juego sea diferente de la del juego original (en este caso el DP). Para comprender esta analogía hay que atender primero a la diferencia entre el proyecto de Nash y nuestro enfoque evolutivo. Dos agentes racionales envueltos en una situación que se puede resolver cooperativamente, no cometerán ni una sola vez el error de romper su acuerdo (en realidad, por definición ni siquiera podrían intentarlo). Sin embargo, los agentes artificiales sí pueden desviarse de un hipotético pacto, pero “aprendiendo” de estos errores poco racionales en virtud de la dinámica evolutiva que selecciona a aquellos que se ajustan más a las acciones cooperativas. Ésta es la diferencia. En cuanto al parecido, de acuerdo con lo que más adelante llamaremos “heurística de la personificación”³⁰ se puede interpretar que el proceso de deliberación en la “mente” de un ser racional sería también un proceso de selección “natural” (en el ámbito psicológico); dicho proceso, considerados los diversos cursos de acción, le lleva a concluir que es mejor disolver un DP mediante una solución negociada (que suponemos disponible). Si se acepta la analogía, pues, las etapas del juego correspondientes a la negociación y la comunicación se estarían produciendo mediante selección natural.

Pese a su alcance general, el equilibrio de Nash presenta ciertas limitaciones, que motivaron a otros autores a proponer ciertos refinamientos del mismo. Esas limitaciones son básicamente dos. Por un lado, existen juegos en los que existe más de un equilibrio, siendo en principio imposible decidir cuál es el que escogerían dos agentes racionales.

El segundo problema está muy vinculado al primero. El equilibrio de Nash está pensado como solución para lo que se conoce como juegos en forma normal, esto es, situaciones en las que los jugadores toman sus decisiones simultáneamente (me referiré a ellos también como “juegos simultáneos”). Sin embargo, hay juegos en los que las decisiones no son simultáneas, sino que un jugador “mueve” primero, y el otro “mueve” después. A éstos se los conoce como juegos en forma extensiva (los llamaré también “juegos sucesivos”). Von Neumann y Morgenstern entendían que cualquier juego en forma extensiva podía verse como un juego equivalente, en forma normal, en el que cada jugador decide por anticipado y *de una sola vez* qué curso de acción emprenderá, considerando todas las eventualidades que pudieran surgir, ya sean producto de la naturaleza o de decisiones del otro jugador. Dadas estas decisiones únicas, un juez o algún mecanismo las pondrían en práctica a lo largo de movimientos sucesivos, sin que ningún jugador tuviese que intervenir más en el juego. En principio la idea es acertada, pero Selten

³⁰ Cfr. *infra* 2.2.2. Danielson toma esta expresión de Elliot Sober, quien señala el isomorfismo existente entre elección racional y evolución, en la medida en que ambos son procesos de optimización.

mostraría después que en ciertos juegos no es cierto que la forma extensiva del mismo pueda convertirse sin más a su representación normal. Cuáles son en concreto estas situaciones lo analizaremos en los capítulos 4.4 y 4.5. El problema, pues, es que lo que en un juego simultáneo es un equilibrio de Nash, no siempre lo es cuando el mismo juego se considera en su variante sucesiva.

En cuanto al primer problema, relativo a la selección de equilibrios, fue objeto de atención por parte de Harsanyi, Aumann y Schelling (entre otros). Los conceptos de equilibrio correlativo (“correlated equilibrium”) de Aumann³¹, y el de punto focal (“focal point”) de Schelling³², constituyen intentos de solución fundados en el carácter estable de las convenciones; además son una explicación de cómo surgen y se mantienen las convenciones³³. Según veremos, desde un enfoque evolutivo el interés de estas soluciones no es tanto el hecho de que sean soluciones al problema de la selección de equilibrios, sino el que sean soluciones *como resultado de un proceso de selección natural*. Cabe también indicar que los problemas que abordaremos en dichos capítulos giran en torno a otra noción central formalizada por Aumann: el *conocimiento común* entre los sujetos que intervienen en una interacción.

Las aportaciones de Harsanyi abarcan varios aspectos. Por un lado, su demostración de que la solución de Nash para el enfoque no cooperativo de los juegos de negociación es equivalente a otro propuesto anteriormente por Zeuthen. Por otro, el método que sugiere para el tratamiento de juegos de información *incompleta*, fundado en considerar estos juegos como si sus protagonistas fuesen *tipos* de jugadores, más que jugadores concretos.

Los detalles de estas propuestas los veremos en los capítulos 4.4 y 4.5. En esta introducción es más importante destacar sus esfuerzos en el desarrollo de un concepto muy controvertido, esto es, las comparaciones interpersonales de utilidad³⁴. Algo que en la práctica nuestro “sentido común” hace a diario, pero cuya justificación teórica resulta poco menos que imposible.

Although the negative point just made [el rechazo de las funciones cardinales de utilidad] might now count as standard doctrine, it is not universally recognized. Harsanyi is prominent among those who interpret the VNM index as measuring the individual’s true preferences differences. He actually need this interpretation in order to tighten up and clarify the important work he pursued in the 50’s to connect expected utility theory with utilitarianism. Because of Harsanyi’s influence on current welfare economics, the “measurability controversy” is not yet closed.³⁵

³¹ *Cfr.* Aumann, 1974 y 1987

³² *Cfr.* Schelling, 1960, caps. 3 y 4

³³ *Cfr.* Skyrms, 1996, cap. 4

³⁴ *Cfr.* Harsanyi, 1958

³⁵ Mongin, 1997, p. 346

Ya mencionamos más arriba que este proyecto de Harsanyi para vincular la teoría de la utilidad esperada, como teoría económica, con una ética utilitarista, se había abandonado con el énfasis puesto por Pareto en centrar los análisis en las preferencias y no en la noción de utilidad. Pero en el momento en que Harsanyi retoma esta línea, la noción de utilidad ya ha sido casi totalmente purgada de cargas psicológicas. El enfoque de Harsanyi es importante porque la posibilidad de considerar la intensidad, y no sólo el orden de las preferencias, es fundamental para un planteamiento evolutivo de la teoría de juegos, en la medida en que se hace necesario cuantificar, y no sólo ordenar, el éxito de las diversas estrategias para calcular las proporciones en que estarán presentes en una población. Y como quien devuelve el favor —digámoslo así—, la teoría de juegos evolutiva, gracias a la medida objetiva de la utilidad en términos de éxito adaptativo, puede ser de ayuda para proseguir la búsqueda de una función *social* de utilidad.

Este proyecto de encontrar una función de utilidad social es consecuencia de la atención prestada por Harsanyi a la necesidad, como condición de posibilidad para la teoría de juegos, de que los agentes conozcan también las preferencias ajenas, y no sólo las propias³⁶. En apariencia trivial, conviene recordar que este supuesto sería en principio rechazado si se interpreta la preferencia como “preferencia revelada”. Aunque sus investigaciones se extendieron también a los juegos donde la función de utilidad de los otros jugadores es incierta, aun en estos casos dichas funciones de utilidad no son *totalmente* desconocidas, sino que se consideran algunos *tipos* posibles, a los cuales se les asignan diversos grados de probabilidad. Pero como tales, esos posibles órdenes de preferencias siguen siendo conocidos, antes de la acción.

Harsanyi destaca también otro postulado digno de atención a la hora de interpretar qué tipo de situación es la representada en un juego: el conocimiento mutuo de la *racionalidad* de los agentes³⁷, que anticipa la noción de conocimiento común formalizada por Aumann. Veremos que este requisito es demasiado fuerte en un contexto evolutivo, donde los agentes pueden ser organismos sin consciencia alguna o incluso agentes artificiales. Pero este conocimiento común de la racionalidad es importante, tanto cuando se acepta como cuando se prescinde de él, para el estudio de las semejanzas y las diferencias entre la teoría de juegos convencional y su variante evolutiva.

³⁶ Como cuestión de hecho, Harsanyi observa que la mayor parte de la teoría de juegos se funda en este supuesto (*cf.* Harsanyi, 1962b, p. 29). Aunque se trata de una afirmación que tiene como propósito introducir su análisis de juegos donde *no* existe este conocimiento mutuo de las funciones de utilidad de los jugadores (juegos de información *incompleta*), lo cierto es que en estos casos sigue habiendo un conocimiento de cuáles son las *posibles* funciones de utilidad, a las cuales se les atribuye un cierto grado de probabilidad. Precisamente, el mérito de Harsanyi consiste en convertir estos juegos en juegos de información *completa* pero *imperfecta*: los jugadores no tienen un conocimiento completo de los movimientos previos de los otros jugadores; uno de estos jugadores será “la naturaleza”, que determina qué *tipo* de jugador es cada agente.

³⁷ *Cfr.* Harsanyi, 1961

Por último, conviene señalar uno de los refinamientos más recientes del equilibrio de Nash, el llamado “equilibrio secuencial” o “equilibrio bayesiano perfecto” (EBP). Debido a Kreps y Wilson, este concepto es a su vez una elaboración ulterior del equilibrio perfecto en subjuegos, propuesto por Selten para eliminar algunos equilibrios que en juegos sucesivos resultarían irracionales³⁸. La limitación de Selten reside en que su propuesta sólo es aplicable a juegos en forma extensiva donde los jugadores conocen *todo el historial* de las decisiones previas. Cuando esto no es el caso, tenemos juegos de información *imperfecta*, para los cuales el EBP sí proporciona una solución. Sin embargo, la aplicación de este concepto es extremadamente compleja, tanto si se consideran uno por uno los posibles resultados de un juego con pocas estrategias y movimientos, como si se recurre a formas matemáticas más generales, que evitan aquel tratamiento “inductivo”. En el capítulo 4.4 discutiremos las posibilidades y las limitaciones de este concepto de equilibrio.

1.2.5 Resumen

Hemos visto cómo las nociones de racionalidad individual, utilidad y utilidad esperada (medida ordinal y cardinalmente), cooperación y conflicto, estrategia, equilibrio, resultado y decisión óptima, han configurado la constelación de conceptos clásicos que conforman la teoría de juegos a partir de las aportaciones mencionadas de von Neumann y Morgenstern, Nash y Harsanyi, entre otros. Este breve repaso a los mismos nos permitirá comprender a continuación qué añaden a este estudio la teoría de la evolución³⁹ y las simulaciones con ordenador.

1.3 Evolución y simulaciones

1.3.1 La evolución de la cooperación: el planteamiento clásico de Axelrod

Desde los inicios de la teoría de juegos, es un reto resolver la gran paradoja de la cooperación entre agentes racionales, auto-interesados. Un modo obvio de acercarse a este problema es suponer que los agentes pueden *aprender* en determinadas situaciones. Por su parte, la idea de un aprendizaje exige la aceptación de un tiempo que transcurre, a la vez que el agente y su contexto de interacción permanecen. Así, la posibilidad de encontrar alternativas a la maximización directa sugiere explorar los juegos repetidos, a lo largo de cuyos movimientos individuales los jugadores pueden experimentar y ensayar distintas opciones estratégicas (que es

³⁸ Cfr. Kreps y Wilson, 1982a

³⁹ Aunque serán constantes las referencias a la teoría evolutiva en su sentido más habitual, esto es, el estudio de las sucesivas transformaciones en las especies biológicas, lo que aquí más nos interesa son ciertas características formales de la misma que pueden también aplicarse a otros campos, tales como la evolución cultural o la evolución de entidades artificiales, tales como robots o algoritmos. Estos aspectos, en principio tomados del estudio de la naturaleza orgánica, serían la capacidad de replicación o transmisión de información, la posibilidad de generar variaciones en dicha información, y la selección de esas unidades de información, de acuerdo con mecanismos que determinan una mayor o menor tasa de replicación.

como de hecho se “aprende” a jugar a cualquier juego: cartas, ajedrez, etc.). En esta vía, el punto de referencia más inmediato se encuentra en las obras de P. Danielson, B. Skyrms y —especialmente— R. Axelrod, autores que han abordado el conflicto entre racionalidad y moralidad desde un punto de vista evolutivo, utilizando además como herramienta fundamental de sus análisis la teoría de juegos y simulaciones informáticas.

Entre éstos, el pionero en esta orientación es Axelrod, quien a principios de los ochenta organizó una serie de competencias donde los participantes enviaban programas de ordenador diseñados para intentar alcanzar el mejor rendimiento posible en series reiteradas de dilemas del prisionero. Los programas que iban consiguiendo más puntos, pasaban a rondas posteriores, lo cual representaba de algún modo lo que sería un proceso de selección natural⁴⁰. Una sesgo inicial de este primer entorno de competición evolutiva es la *predisposición* de las estrategias concursantes a buscar la maximización de resultados en una situación muy determinada, la del DP iterado (es decir, el mismo juego, jugado repetidas veces por un par de agentes), con lo cual se partía ya desde un punto en que tanto la moralidad como *especialmente* la racionalidad se daban por supuestas. Otros experimentos posteriores de Axelrod tenían en cuenta algunas críticas vertidas sobre este punto, esforzándose por representar en sus simulaciones la ausencia de fines que impera en la evolución biológica (estos trabajos quedan recopilados en una colección de artículos bajo el título *The Complexity of Cooperation*, 1997). Es evidente que esta referencia a una evolución ciega, movida por mutaciones azarosas y cruces de genes sitúa a la teoría de juegos evolutiva en el extremo opuesto de la teoría de juegos clásica, donde se suponen siempre agentes *perfectamente racionales*. Sin embargo, entre ambos modos de considerar la teoría de juegos hay paralelismos muy notables, de los que nos ocuparemos en 2.2.2, pero que resumidamente —y prescindiendo de aspectos donde el paralelismo se rompe— se manifiestan en el hecho de que tanto la evolución como la decisión racional pueden ser vistos como *procesos de optimización*.⁴¹ Descartado pues aquella especie de teleologismo inicial, Axelrod conserva en 1997 el otro elemento fundamental de su enfoque: la perspectiva de que haya futuras interacciones, como condición de la estabilidad de conductas cooperativas.

Pese a estas limitaciones, que discutiremos pormenorizadamente en el capítulo 4.3, el procedimiento empleado por Axelrod en *La evolución de la cooperación* es ejemplar para el tipo de investigación que se ha venido desde entonces llevando a cabo mediante simulaciones evolutivas con ordenadores. Por un lado, cuenta con un método totalmente experimental (aunque el laboratorio sea virtual) que permite observar dinámicas evolutivas demasiado complejas para ser tratadas analíticamente. En la búsqueda de *una* estrategia óptima para un DP iterado no había

⁴⁰ Cfr. Axelrod, 1986, caps. 2 y 3

⁴¹ Cfr. Danielson, 2004, p. 417

ninguna pista inicial sobre cuál podría ser ésta; y de hecho, los resultados fueron en su momento bastante sorprendentes: el triunfo de una estrategia muy simple, la famosa “Tit for Tat” (“Toma y Daca”). Esta estrategia comienza siempre cooperando, y posteriormente se limita a hacer lo mismo que su oponente ha hecho en la jugada anterior, es decir, continúa cooperando o no, según hayan cooperado o no con ella en la iteración previa. Aunque se ha acusado a Axelrod de dar una importancia exagerada a este algoritmo, lo cierto es que la superioridad de esta estrategia queda de manifiesto en la mayoría de los experimentos. Si no constituye una solución definitiva para este tipo de juegos iterados —pues se han encontrado contextos en los que no es una regla óptima⁴²—, representa sin duda un punto de referencia fundamental a partir del cual se pueden investigar otras alternativas. Por otra parte, Axelrod aplica un análisis matemático para destacar ciertos rasgos fundamentales que se pueden extraer de las interacciones iteradas, siendo capaz de explicar *a posteriori* las razones de que un cierto tipo de conductas sean evolutivamente estables. Sin embargo, Binmore estima que el análisis formal de Axelrod puede y debería ser más profundo, sin necesidad de recurrir tan rápidamente al procedimiento “empírico” de las simulaciones.

It is certainly irritating to find the jacket of *Complexity of Cooperation* congratulating Axelrod on his groundbreaking work in game theory, by which is usually meant his rediscovery of the fact that full co-operation can be sustained as an equilibrium in some indefinitely repeated games. [...] The *folk theorem* of game theory proved by several authors simultaneously in the early fifties demonstrates not only this fact, but describes in precise detail *all* of the outcomes of a repeated game that can be sustained as equilibria. However, although Axelrod didn't discover the folk theorem, I believe that he did make an important contribution to game theory, which has nothing to do with the particular strategy TIT-FOR-TAT nor with the mechanisms that *sustain* any of the other equilibria in the indefinitely repeated Prisoners' Dilemma. He did us the service of focusing our attention on the importance of evolution in *selecting* an equilibrium from the infinitude of possibilities whose existence is demonstrated by the folk theorem. But it is necessary to insist that to recognise Axelrod as a pioneer in evolutionary equilibrium selection is to endorse neither his claims for the strategy TIT-FOR-TAT, nor his unwillingness to see what theory can do before resorting to complicated computer simulations.⁴³

Pese a todo, vemos que Binmore reconoce la importancia de la contribución de Axelrod, aunque a su entender no precisamente por los resultados que la han hecho más famosa. En lo que respecta a esta investigación, ya sólo por su incursión en el terreno de las simulaciones con ordenador, las aportaciones de Axelrod serán un punto de referencia significativo.

⁴² Por ejemplo, en presencia de “ruido”, esto es, errores en la percepción de lo que han sido las respuestas de los rivales.

⁴³ Binmore, 1998

1.3.2 Maynard Smith

El tipo de análisis formal en el que Binmore quiere hacer más hincapié es propio de la teoría de juegos convencional, en cuanto que rama de las matemáticas. Se trata en principio de un enfoque estático, en el sentido de que los procedimientos empleados para tomar decisiones óptimas (maximización) no cuentan con las consecuencias que dicha maximización puede tener en una población a lo largo del tiempo. El componente *dinámico* que la biología aporta a la teoría de juegos, para convertirla en teoría de juegos *evolutiva* procede en primer término de los ensayos de Maynard Smith durante los años 70, recopilados en *Evolution and the Theory of Games* (1981). A Maynard Smith y G. Price se les debe el concepto que constituye la piedra angular de la teoría de juegos evolutiva: la estrategia evolutivamente estable (en lo que sigue ESS, “Evolutionarily stable strategy”). Esta idea representa el equivalente *dinámico* o *evolutivo* del equilibrio de Nash en la teoría de juegos convencional, a saber, la estrategia (patrón de comportamiento) que empleada por los miembros de una población les proporciona el máximo rendimiento adaptativo posible, de manera que no pueden ser invadidos por estrategias mutantes (en el capítulo 4.2.4 veremos una definición más precisa de este concepto). Aunque los análisis son en sí mismos bastante complejos, se llevan a cabo sobre situaciones o “juegos” donde participan agentes muy simples, pues no se debe olvidar que el objeto de Maynard Smith es el estudio de conductas animales, muy mecánicas y estereotipadas. Sin duda la gran intuición de Maynard Smith queda expresada en el prefacio de *Evolution and the Theory of Games*.

Paradoxically, it has turned out that game theory is more readily applied to biology than to the field of economic behaviour for which it was originally designed. There are two good reasons for this. First, the theory requires that the values of different outcomes (for example, financial rewards, the risks of death and the pleasures of clear conscience) be measured on a single scale. In human applications, this measure is provided by “utility” —a somewhat artificial and uncomfortable concept: in biology, Darwinian fitness provides a natural and genuine one-dimensional scale. Secondly, and more important, in seeking the solution of the game, the concept of human rationality is replaced by that of evolutionary stability. The advantage here is that there are good theoretical reasons to expect populations to evolve to stable states, whereas there are grounds for doubting whether human beings always behave rationally.⁴⁴

A esto podemos añadir que desde la época en que se escribió este libro se ha ido produciendo algo así como el proceso inverso: la teoría de juegos evolutiva, inicialmente ideada para el estudio de la conducta animal, ha ido ganando en interés para economistas, científicos sociales en general, y filósofos en particular. Uno de los objetivos de la presente investigación será mostrar las razones de este interés multidisciplinar.

⁴⁴ Maynard Smith, 1977, p. vii.

La lectura de Maynard Smith es en muchos casos bastante intrincada, debido sobre todo a la prolijidad en la exposición matemática de los modelos y a la gran diversidad de juegos que tiene en cuenta: juegos con más de 2 jugadores, juegos asimétricos, conductas que pueden estar determinadas por pares de alelos, juegos de información incompleta, juegos de señalización, entre otros. Sin embargo, los juegos de mayor interés para cuestiones morales —es decir, trascendiendo la pura conducta animal— pueden analizarse de un modo más sencillo, descubriéndose en ellos estructuras de interacción más familiares para la teoría de juegos aplicada a la conducta humana, con la consiguiente capacidad de tener en cuenta *lo que harán los otros jugadores* (situaciones estratégicas). Lo que puede observarse en autores posteriores a Maynard Smith (Gauthier, Axelrod, Danielson, Skyrms) es, por un lado, una mayor complejidad en la conducta de los *jugadores* y sus estrategias disponibles, y por otra, una simplificación considerable del tipo de *juegos* y el modo de abordarlos, sin por ello perder rigor. En el presente trabajo intentaré acentuar aun más esta doble tendencia. Aunque la simplicidad es siempre un rasgo deseable en un modelo, la gran diversidad de combinaciones que ofrece una simulación informática, así como la posibilidad de controlarla, permiten experimentar con condiciones iniciales que en la naturaleza (biológica o social) son difíciles de rastrear. Podemos observar ciertos fenómenos y formalizarlos matemáticamente, pero a menudo quedan fuera de nuestro alcance otra serie de acontecimientos necesarios para explicar por qué son las conductas de hecho observables, y no otras, las que han sido favorecidas por la dinámica evolutiva. Una simulación es una experiencia controlada, es decir, un experimento. Si manteniendo todas las variables iguales, nuestros experimentos coinciden en sus resultados con otros similares que ya han sido convenientemente justificados deductivamente, podemos extender la validez a nuevos resultados obtenidos mediante la modificación de alguna de las variables. Todo el capítulo 4 estará dedicado a contrastar nuestro modelo con los de otros autores, mediante una serie ordenada y sistemática de experimentos.

No obstante, la elegancia y el rigor de los análisis matemáticos tienen un límite cuando crece el número de variables que componen las estrategias⁴⁵ y el entorno donde interactúan y evolucionan. En este sentido, los agentes artificiales que propondré para mis “juegos” se alejan mucho del ideal de simplicidad perseguido por la mayoría de los autores aquí estudiados. Es en este punto donde se ve más claramente la utilidad de una simulación: por un lado, las variables a tener en cuenta son tantas, y vinculadas unas a otras de manera tan compleja, que un estudio deductivo de sus relaciones se vuelve prácticamente imposible. Por otro, la realidad no nos

⁴⁵ El término “estrategia” tiene aquí su segundo sentido, esto es, una *regla* para escoger un plan, no el propio plan.

permite tratar inductivamente el problema porque muchos de los fenómenos relevantes escapan a nuestra observación, mientras que los experimentos con sujetos reales quedan a menudo muy limitados en el número de participantes como en el estudio de sus consecuencias evolutivas a largo plazo.

1.3.3 Darwin

El objetivo de Maynard Smith era elaborar un modelo de teoría de juegos (o un modelo matemático) de la evolución biológica, tal como fue definida por Darwin. No es ocioso recordar que la originalidad de Darwin está en el esclarecimiento de la lógica de la evolución tal como es entendida hoy en día, esto es, un proceso de cambio en el que cabe reconocer tres elementos: la replicación de una información, las variaciones surgidas en dicha información, y la selección de unas variaciones frente a otras, que da lugar a la supervivencia de los *individuos* más aptos (o los *genes* más aptos, si siguiendo a Dawkins aceptamos que el gen es la unidad sobre la que opera la selección natural). Cuando Darwin propuso su teoría de la selección natural los mecanismos de la herencia no eran conocidos, y sólo a partir de los experimentos de Mendel fue posible una progresiva comprensión del modo exacto en que se transmiten diversos caracteres de una generación a otra, gracias sobre todo al descubrimiento de Watson y Crick de la estructura del ADN. Entrar en estos detalles cae por supuesto muy lejos del objetivo de la presente tesis, pero en esta introducción no está de más apuntar que esa lógica de la evolución mencionada arriba, en lo que respecta al componente de la herencia, responde a unos mecanismos que se dejan representar muy bien en ordenadores, mediante algoritmos relativamente sencillos. En 3.3.1 veremos que incluso si nos interesa interpretar estos experimentos virtuales más como simulación de una evolución cultural que biológica —y sin entrar a discutir el polémico concepto de “meme”⁴⁶— los agentes artificiales pueden igualmente comportarse como si *imitasen* conductas, y no ya como si las *heredasen*, con lo cual es posible comparar las semejanzas y diferencias entre ambos tipos de procesos. En último capítulo de *Evolution and the Theory of Games* Maynard Smith discute este punto, en lo que es a su vez un comentario de los trabajos de Axelrod.⁴⁷ Es cierto que la evolución mediante la imitación y el aprendizaje, muy especialmente

⁴⁶ El término “meme” fue acuñado por Dawkins para destacar la idea de que el gen no es el único tipo de información susceptible de reproducirse, variar y competir en un medio de recursos limitados. “The gene [...] happens to be the replicating entity that prevails in our own planet. There may be others. If they are [...] they will almost inevitably tend to become the basis for an evolutionary process. [...] I think that a new kind of replicator has recently emerged on this very planet. [...] We need a name for the new replicator, a noun that conveys the idea of a unit of cultural transmission, or a unit of *imitation*. [...] Examples of *memes* are tunes, ideas, catch-phrases, clothes fashions, ways of making pots or of building arches. Just as genes propagate themselves in the gene pool by leaping from body to body via sperms or eggs, so memes propagate themselves in the meme pool by leaping from brain to brain via a process which, in the broad sense, can be called imitation”. (Dawkins, 1989, p. 192)

Si aceptamos pensar en términos de memes, a la lista de ejemplos que menciona Dawkins (canciones, ideas, modas) podríamos también añadir las teorías morales, o más general, los sistemas de normas.

⁴⁷ Cfr. Maynard Smith, 1977, pp. 167 – 173.

en seres humanos, va más allá de la simple evolución biológica planteada en términos puramente darwinistas. Sin embargo, el enfoque evolutivo sigue siendo relevante, si aceptamos con Maynard Smith que “nevertheless, genetic evolution may have made both baboons and people readier to learn some things than others”⁴⁸.

1.3.4 Gauthier y Danielson: agentes transparentes y maximización restringida

De cualquier manera, seguiré a P. Danielson⁴⁹ en su intento de guardar las distancias oportunas respecto de la sociobiología, para mostrar que los eventuales beneficios que justificasen racionalmente la moralidad tienen que poder encontrarse en el individuo, y no en sus genes o en su especie. O dicho de otro modo, esta exigencia quedaría expresada en la conocida pregunta de Hume:

¿Qué teoría de la moral puede ser útil a cualquier propósito a menos que pueda demostrar que todos los deberes que recomienda representan también el verdadero interés de cada individuo?⁵⁰

Frente a la influyente tesis de Dawkins y su célebre gen egoísta⁵¹, marcar esta diferencia determina que esta investigación mantenga su relevancia para la filosofía moral, y no meramente para la biología o la economía. En cualquier caso, y al margen de que seamos robots programados por nuestros genes para su propio “beneficio”, permaneciendo al nivel del individuo, esta idea de *más apto* no debe hacer pensar —como ocurre a menudo— en el éxito inmediato logrado por un agente egoísta que sabe explotar a otros menos avisados. Al contrario, los estudios que vinculan moralidad y teoría de juegos evolutiva nos muestran que en muchos casos la dinámica darwinista selecciona como más aptos a aquellos individuos que muestran conductas altruistas, y es en este sentido que nos interesa destacar el valor adaptativo de las disposiciones morales. Como queda dicho, este valor adaptativo puede observarse sin duda en la especie, o a nivel de genes (según las diversas propuestas que sitúan en uno u otro nivel la unidad sobre la que opera la selección natural). El desafío está en mostrar que este valor adaptativo, este “beneficio de la racionalidad restringida”, se manifiesta también en el individuo

⁴⁸ Maynard Smith, 1977, p. 171

⁴⁹ Entre los trabajos de Danielson, me centraré sobre todo en *Artificial Morality*. Se trata de su primer libro sobre simulaciones y “moralidad artificial”, y aunque algunas de sus ideas se encuentran en parte superadas (entre otros por él mismo, en posteriores ensayos) representa sin duda la exposición más clara y novedosa de las posibilidades que ofrece este método —los experimentos virtuales— para la filosofía moral.

⁵⁰ Hume, 1902, sección IX, parte II, p. 228. Evidentemente hay otros modos de entender la ética, que negarían rotundamente esta afirmación. Pero en el marco que nos hemos propuesto, la pregunta sobre si es racional actuar moralmente se funda como hemos visto en una idea de racionalidad como maximización del interés individual.

⁵¹ La idea fundamental que Dawkins expone en *The Selfish Gene* es que el gen, y no el organismo, es la unidad última sobre la que opera la selección natural, es decir, la entidad que en último término resulta beneficiada o perjudicada por las conductas de los organismos individuales.

que la ejerce⁵². Y no meramente un individuo movido por impulsos puramente mecánicos, sino en individuos —los de nuestra especie— por un lado completamente racionales, es decir, capaces de orientar la acción de acuerdo con las facultades mínimas de una racionalidad instrumental (seleccionar medios factibles para fines dados) y una racionalidad sustantiva (elegir justificadamente entre fines posibles, criticando o revisando eventualmente esa elección) y, por otro, capaces de representarse esta misma racionalidad en sus semejantes.

El punto central donde Danielson hace un esfuerzo por mantener las simulaciones dentro de un contexto relevante para la filosofía práctica es su renuncia a los juegos iterados. En *Artificial Morality* emprende una discusión con otros autores⁵³, acerca de si en juegos iterados, ante la perspectiva de futuras interacciones, la cooperación no pasaría a ser una conducta puramente maximizadora, siendo la moralidad de la restricción puramente aparente⁵⁴. Danielson, junto con Gauthier, sostiene esta última conclusión; y en efecto, lo cierto es que entre las estrategias programadas para el concurso de Axelrod, las más exitosas resultaron ser aquellas que tenían en cuenta la llamada “sombra del futuro”⁵⁵, lo cual les valía entre otras cosas para cuidarse de futuras represalias (Tit for Tat entre ellas). En 3.5 mostraré que la irrelevancia moral de este interés a largo plazo es justificable sólo cuando suponemos —como de hecho era el caso en el concurso de Axelrod— la intencionalidad humana del programador que ha desarrollado el algoritmo con el explícito propósito de maximizar la utilidad en juegos iterados. En mi simulación crearé un contexto evolutivo donde los juegos iterados no suponen ningún tipo de intencionalidad en los agentes artificiales. Los experimentos llevados a cabo con simulaciones muestran que la iteración de jugadas es decisiva para fomentar conductas que calificaríamos de “morales”, pero mi idea es que esto no se debe a una expectativa de futuro, sino que puede ser compatible con los agentes racionales à la Gauthier, capaces de resolver el conflicto entre moralidad y racionalidad en situaciones que nunca se repetirán.

Danielson sigue de cerca a Gauthier, representante —ya fuera de la metodología que se vale de simulaciones— de uno de los esfuerzos más importantes por conciliar la moralidad con la racionalidad “maximizadora”. De Gauthier toma Danielson el concepto de “maximización restringida”, esto es, la capacidad de evitar los efectos perniciosos que en casos como el DP tiene la maximización directa. Y para modelar robots capaces de comportarse como maximizadores restringidos, también toma de Gauthier la noción de agentes “transparentes” o “translúcidos”:

⁵² Cfr. Danielson, 1992, p. 42

⁵³ Discusión ante todo en torno a las conclusiones de Axelrod, obviamente.

⁵⁴ Cfr. Danielson, 1992, pp. 45 – 50

⁵⁵ Cfr. Axelrod, 1986, pp. 124 – 129, 167

éstos son capaces, por un lado, de dar a conocer sus intenciones o disposiciones, y por otro, de reconocer estas disposiciones en los demás. De esta manera Gauthier y Danielson presentan una propuesta para superar el conflicto entre racionalidad y moralidad sin tener que recurrir a la “amenaza” o al “interés” proyectados en futuras interacciones.

La idea es a grandes rasgos la siguiente. De acuerdo con la teoría heredada, en el DP es imposible evitar el resultado subóptimo del fraude mutuo, excepto si hay una expectativa de que el conflicto volverá a repetirse. En este caso, lo que todos los experimentos muestran (virtuales y reales) es que los agentes, ya sean bacterias o estudiantes de economía, tienden rápidamente hacia conductas cooperativas, pues la repetición de jugadas da oportunidades sucesivas tanto a la posibilidad de mostrar buena voluntad para iniciar una cooperación sostenida, como al procedimiento de “castigar” a quien no acepta entrar en una dinámica cooperativa, cosa que redundaría en perjuicio de éste. No es difícil encontrar en esta dinámica *temporal* una posible explicación al hecho de que, pese a todo, no vivamos en un estado de naturaleza hobbesiano. Sin embargo, lo que Gauthier se pregunta es cómo poder conseguir el resultado cooperativo, mucho más beneficioso que la defección mutua prevista o incluso prescrita por la teoría, *cuando se sabe que no habrá futuras ocasiones para proseguir cooperando*. Su respuesta es que de algún modo tiene que ser posible reconocer *a priori* la disposición o “intención” del otro, de manera que sea factible cooperar con él, si anticipamos que él también cooperará, o defraudar —para no dejarnos explotar— si sabemos que él no cooperará. El otro punto clave es que no basta una depurada habilidad para adivinar las intenciones ajenas, sino que además debemos poseer nosotros una genuina disposición cooperativa cuando el caso lo requiera: debemos ser capaces de restringir en nosotros mismos el imperativo de la maximización, para no “caer en la tentación” de aprovecharnos de las disposiciones cooperativas que percibimos en los demás. A este tipo de disposición la denomina Gauthier “maximización restringida”⁵⁶ y Danielson, encarnando este criterio en algoritmos que regulan agentes artificiales, lo llama “cooperación condicional”⁵⁷.

Los primeros experimentos virtuales de Danielson se fundan en el análisis detallado de unas pocas estrategias seleccionadas de antemano como relevantes para el estudio del conflicto entre moralidad y racionalidad. En este sentido padecen del mismo inconveniente que señalábamos anteriormente en relación con los primeros planteamientos de Axelrod: están demasiado orientados por ciertas nociones previas de racionalidad y moralidad, que deberían ser la conclusión de una prueba evolutiva, y no el punto de partida. Hay que decir en cualquier caso que Danielson tampoco pretendía que sus primeros tests fuesen evolutivos en un sentido estrictamente biológico:

⁵⁶ Cfr. Gauthier, 2000, cap. 6

⁵⁷ Cfr. Danielson, 1992, cap. 4

[...] while genetic reproduction leads to organisms with intrinsic reproductive interests, artificial justification need make no similar assumption. Our agents should care about scoring but scoring need not be connected to reproduction.⁵⁸

[...] Morality—even rational morality—must admit the survival of the frustrated.⁵⁹

Por tanto, el interés que presentan las primeras simulaciones de Danielson no está tanto en su carácter “darwinista”, sino en entablar un diálogo muy interesante con Gauthier, discutiendo las ideas de éste con la ayuda de agentes artificiales. Los detalles de la dinámica evolutiva son, pues, limitados: se consideran los resultados en una población muy reducida, y sin posibilidad de introducir azarosamente nuevas estrategias “mutantes”⁶⁰. Las variaciones son introducidas por el propio experimentador, y el *orden* en que éstas son incluidas en la población afectan al éxito instrumental de las diversas estrategias o disposiciones; en cualquier caso Danielson es claramente consciente de estos inconvenientes y consigue que el hilo central de su argumentación no dependa de estos pormenores⁶¹. Sin embargo estos primeros laboratorios virtuales de Danielson no aprovechan todo el potencial que ofrecería un modelo informático, en la medida en que se queda anclado en un análisis demasiado deductivo—lo cual, hay que repetir, no deja de ser el ideal de ciencia—, sin experimentar lo que deviene *a posteriori* en una simulación ejecutada a lo largo de muchas generaciones. Para la filosofía moral, el interés de estos estudios que se valen de herramientas informáticas reside en que pueden *ayudar* a los intentos de justificación normativa que constituyen la historia de la ética. Que esta tarea es harto complicada queda evidenciado en la propia historia de la filosofía moral, que hasta el momento no ha proporcionado ninguna justificación indiscutible. En este sentido, el enfoque adoptado para esta investigación no tiene más pretensiones que la de intentar iluminar algunos aspectos relacionados con el origen de nuestras disposiciones morales. Una perspectiva evolutiva resulta mucho más efectiva a la hora de *explicar* la existencia de dichas disposiciones, que podemos considerar un hecho, por lo menos en cuanto que pese al fracaso en la búsqueda de una justificación última, nos movemos permanentemente en un mundo de valoraciones y normas. Pero si no nos conformamos con esta tarea más modesta, meramente explicativa, el otro punto de referencia para esta investigación está en la obra de David Gauthier, por ser probablemente el filósofo contemporáneo que con más claridad y ambición ha planteado la pregunta clásica de Trasímaco, en términos aceptables por científicos sociales. El pensamiento de Gauthier, cuya

⁵⁸ Danielson, 1992, p. 43

⁵⁹ Danielson, 1992, p. 102

⁶⁰ En *Modelling Morality and Evolution* (1998) Danielson sí se ocupa de modelos que simulan también mutaciones y “recombinaciones genéticas”.

⁶¹ *Cfr.* Danielson, 1992, pp. 92 – 97

exposición más completa se halla en *Moral por acuerdo*, intenta superar el conflicto entre moralidad y racionalidad desplazando la noción de racionalidad heredada de las acciones mismas a las *disposiciones* que tenemos para realizar *condicionalmente* ciertas acciones. Sin llegar a adoptar explícitamente un planteamiento evolutivo, su enfoque es un paso adelante respecto de la teoría heredada (la teoría de juegos que, en lo básico, quedó formalizada por von Neumann y Morgenstern) por cuanto que la elección racional no se aplica directamente a acciones, sino a ciertas reglas o criterios para escoger dichas acciones⁶². Con ello se flexibiliza lo que en la teoría de juegos clásica es siempre una elección puntual: el resultado de un juego depende siempre solamente de la estructura de los pagos. En el enfoque de Gauthier, los resultados de un mismo juego pueden variar, dependiendo de las disposiciones de los agentes. Sin embargo, Gauthier insiste en que sus argumentos pueden ser válidos para una sola interacción, es decir, sin recurrir a la reiteración de jugadas (como Axelrod) que favorecen la cooperación gracias a la expectativa de futuras interacciones. Como dijimos anteriormente, Gauthier se vale para ello del artificio teórico de los agentes transparentes (o translúcidos) de los cuales podemos conocer su *disposición* a obrar. En combinación con nuestra propia disposición, dentro de un mismo juego pueden resultar diversas decisiones: la pregunta, pues, acerca de la racionalidad del agente recae no sobre su acción, sino sobre la regla o disposición de la que se deriva. Como argumento teórico el planteamiento es totalmente legítimo, y Gauthier no cree necesario concretar el modo en que, en la práctica, podríamos ser transparentes y podríamos ser capaces de mirar la translucidez ajena. Por mi parte construiré esta transparencia sobre la idea de que los diversos grados de translucidez que podemos encontrar en el comportamiento real se reducen en último término a un juego de reputaciones basado en la experiencia (por vaga e imprecisa que sea ésta). En mi modelo informático, los agentes artificiales tienen la posibilidad de observar las conductas de los demás e ir formándose “inductivamente” a partir de ellas una idea de las disposiciones ajenas.

Por el contrario, el modelo de Danielson trabaja directamente con agentes artificiales totalmente *transparentes* que pueden literalmente leer los algoritmos de los demás. Esto no quita validez a su modelo por “poco realista”, pues esta técnica empleada por Danielson es sólo un recurso de programación, y en mano del experimentador queda el interpretar de qué modo dichos agentes podrían ser transparentes fuera del modelo. Sin duda esto presenta la ventaja de la simplicidad, pero tiene ciertos inconvenientes relativos a la circularidad en la que se verían los individuos que conociesen las disposiciones ajenas (y las propias), quedándose encerrados en un circuito de expectativas mutuas, pero sin poder dar un primer paso hacia la acción. Muy resumidamente, el problema de los cooperadores condicionales (“maximizadores restringidos” en Gauthier) es el siguiente: si A conoce la disposición *condicional* de B, y B conoce la

⁶² Es decir, Gauthier consideraría “estrategia” en el segundo sentido que distinguíamos al inicio del epígrafe 1.2.1.

disposición *condicional* de A, lo que ambos saben es que el otro estaría dispuesto a cooperar *si* uno mismo también está dispuesto a hacerlo. Pero fuera de esta condición, ninguno puede saber que, en efecto, el otro *cooperará*, con lo cual no pueden decidirse por una acción en concreto. En 3.7 descubriremos que este problema no es una mera dificultad de programación, sino que es inherente a la interacción entre seres que además de poseer sus propias intenciones, se representan las intenciones de los demás. En mi modelo el grado máximo de abstracción que caracteriza la transparencia total queda rebajado a mera translucidez, donde los agentes pueden equivocarse en su evaluación de las disposiciones ajenas, pero pueden siempre, en último término, realizar una acción, precisamente porque renuncian a hacerse una idea perfecta de lo que será la actitud del otro.

La estructura propia de las situaciones que en teoría de juegos se conocen como “estratégicas” conduce a una recursividad donde la decisión de un agente A depende de las expectativas sobre la acción del otro agente B, quien a su vez actúa en función de lo que espera que haga A, sabiendo ambos que se encuentran en este tipo de estructura indefinidamente circular. Cuando este tipo de regresión se origina por el imperativo de *escoger una acción óptima*, tendremos ocasión de ver cómo la teoría de juegos permite romper esta circularidad mediante el concepto de equilibrio (aunque hay juegos que no tienen un único equilibrio, ni siquiera empleando estrategias mixtas). Así, incluso en situaciones estratégicas es posible tomar una decisión óptima. Sin embargo, cuando la circularidad se debe al intento de descubrir cuál es la *disposición* ajena, es preciso poner un límite a esta búsqueda, aunque sea un límite arbitrario, renunciando al ideal optimizador.⁶³

⁶³ Ésta es precisamente la propuesta de Simon al introducir en su concepto de racionalidad limitada (*bounded rationality*), en un intento de hacer la teoría de la elección —en sus aspectos tanto descriptivo como normativo— más próxima a los comportamientos y limitaciones de los agentes reales, muy alejados en la práctica de los maximizadores omniscientes y perfectamente racionales del enfoque clásico. Dadas las limitaciones reales impuestas a la toma de decisiones (tiempo, coste del análisis de alternativas, capacidad de cálculo finita, etc.) en ocasiones puede resultar irracional alcanzar una decisión totalmente racional. También las investigaciones en IA corroboran las restricciones que sufren incluso agentes artificiales, con capacidades de cálculo muy superiores a los de un ser humano, ya que no se trata de una cuestión de “potencia” sino de la propia estructura recursiva de ciertos razonamientos. Los fundamentos de una teoría de la racionalidad limitada se encuentra en la obra Simon, *Models of Man* (1957). La idea de Simon es ofrecer una alternativa al modelo tradicional de elección racional entendido como maximización bayesiana. Sin renunciar a la maximización bayesiana para la toma de *decisiones*, lo que defenderé en las secciones 3.5 – 3.7 es la necesidad de imponer algún tipo de limitación al proceso de búsqueda orientado a hacerse una idea perfectamente acabada de cuáles son las *disposiciones* ajenas (transparencia). Para una introducción al tema, véase los dos primeros capítulos de Gigerenzer y Selten, *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*.

1.3.5 Skyrms: evolución biológica y cultural. Una ampliación de las simulaciones aplicadas a la teoría de juegos más allá del DP.

Danielson extiende el método popularizado por Axelrod en dos direcciones. Por un lado — y sin negarle a Axelrod que el DP sea la *E. coli* las ciencias sociales⁶⁴—, entiende que “this game is not the only or even the most difficult test for morally constrained agents”⁶⁵. Acorde a esta idea, en los capítulos 9 y 10 de *Artificial Morality* estudia en qué medida los agentes artificiales que había diseñado para el DP pueden también ser instrumentalmente exitosos en el juego conocido como “Gallina”⁶⁶. Por otro lado, más recientemente, en “Evolutionary Models of Cooperative Mechanism” ajusta el sentido evolutivo de sus simulaciones⁶⁷ eliminando algunas arbitrariedades e introduciendo una mayor proporción de azar y diversidad en las estrategias analizadas⁶⁸.

Pero es en la obra de Skyrms donde encontramos el paso más decidido en estas dos direcciones, que son las que me he propuesto dar a esta investigación. En efecto, Skyrms supera el cerco inicial de las primeras simulaciones de Danielson con un enfoque explícitamente darwinista, siguiendo la línea de Maynard Smith y el concepto de *replicator dynamics*, que tendremos ocasión de analizar detenidamente más adelante (3.3.1). Al igual que Danielson, Skyrms toma también de Maynard Smith el concepto de estrategia evolutivamente estable (EES) pero llevándolo a su término más coherente: cuando una estrategia invade una población no se trata sólo de reflejar una mejor racionalidad instrumental en un número mayor de “puntos”, sino que éstos, además, redundan en una tasa de *reproducción* superior⁶⁹. Si Danielson entiende que “la conexión necesaria entre interés y reproducción” es sociobiología más que una justificación racional de la moralidad⁷⁰, entonces Skyrms estaría plenamente insertado en un planteamiento sociobiologicista.

⁶⁴ Cfr. Axelrod, 1997, p. xi

⁶⁵ Danielson, 1992, p. 163

⁶⁶ A diferencia del DP, el juego del Gallina sí representa en rigor lo que se conoce como situación *estratégica*: un jugador no puede escoger un curso de acción óptimo sin tener en cuenta lo que hará —o lo que cree que hará— el otro jugador. Éste, a su vez, se plantea su decisión en estos mismos términos, de lo cual resulta una referencia mutua, en principio infinita, a lo que cada uno espera que hará el otro. En el DP, por el contrario, *da igual lo que haga el otro jugador*, a cada uno le conviene defraudar. En 4.2.1 se explica en qué consiste el juego del Gallina.

⁶⁷ Este artículo se encuentra en Danielson, 1998b. Véase también Danielson, 2002.

⁶⁸ Hay que hacer justicia a Danielson y reiterar (ya quedó indicado en 1.3.4) que en su primer planteamiento siempre es consciente de estas arbitrariedades, procurando en todo momento analizarlas y justificarlas para que resulten lo menos caprichosas posible (véase por ejemplo la discusión de su test evolutivo en el capítulo 5.2 de *Artificial Morality*).

⁶⁹ La reproducción de una estrategia no tiene por qué interpretarse solamente como reproducción biológica. Puede tratarse de una difusión de la misma mediante procesos de imitación o refuerzo (evolución cultural).

⁷⁰ Cfr. Danielson, 1992, p. 102

En relación con el tipo de agentes artificiales empleados, los de Skyrms continúan siendo muy simplificados y preseleccionados, o “creados” por el experimentador a partir de un exiguo abanico de posibilidades, que únicamente incluye unas pocas estrategias que se mueven entre comportamientos “extremos”⁷¹. Pese a ello, hay un avance en relación con los algoritmos de Axelrod y Danielson, por cuanto sus experimentos tienen la virtud de contar con estrategias que otros autores rechazan por principio como *obviamente* irracionales⁷². Ya se ha destacado anteriormente que esta simplicidad en el diseño de los agentes artificiales es un rasgo deseable para las simulaciones, pues permiten un análisis matemático más elegante y simple. Pero la inclusión de una mayor variedad de agentes, incluso si a veces son insensatamente complejos, abre una nueva línea de investigación en el uso de simulaciones, que intento seguir hasta el final en mi modelo informático. El proyecto de Gauthier, justificar la moralidad a partir de la racionalidad, da por supuesta esta última. La inclusión de agentes irracionales, sin suponer ninguna racionalidad previa, podría servir mejor al objetivo de justificar una moral racional, si se pudiese mostrar que ambas, moralidad y racionalidad, evolucionan paralelamente.

Siempre existe la dificultad de determinar qué rasgos son esenciales en un modelo, y de cuáles hay que hacer abstracción. En el caso de mis simulaciones, creo que vale la pena renunciar en parte a formulaciones matemáticas precisas como punto de partida. Esto se debe a que mis modelos cuentan con muchos elementos que en otras simulaciones son dejados al margen por no esenciales. En el caso de la simplicidad y elegancia extremas, algunas simulaciones no son más que la implementación de fórmulas en un ordenador, para que éste realice cálculos estadísticos que —salvando diferencias de velocidad— podrían llevarse igualmente a cabo sobre el papel. Por el contrario, otras simulaciones (y la mía sería un caso extremo de esta vertiente alternativa) introducen un cierto número de elementos en la definición de los agentes y entornos artificiales y, sobre todo, implementan una toma de decisiones directa —bien que en un mundo virtual— por parte de los agentes artificiales. Esto proporciona a la simulación una mayor riqueza “empírica” (entiéndase este término entre comillas, pues se trata de mundos virtuales, cuyo adecuado correlato con la realidad habrá que justificar). A su vez, esta mayor cantidad de detalles complica considerablemente una aproximación analítica a los modelos. Éstos, por su parte, arrojarán resultados que posteriormente sí podrán ser sometidos a diversos grados de abstracción y formalización matemática. La justificación de este incremento

⁷¹ Puede tratarse de estrategias puras que corresponden a las opciones disponibles en un juego discreto (dos opciones, en la gran mayoría de los casos) o estrategias mixtas que escogen aleatoriamente alguna de estas pocas estrategias puras.

⁷² Por ejemplo, estrategias contradictorias, que no cooperan con quienes sí cooperan, y a la inversa, se muestran altruistas frente a estrategias reconociblemente egoístas. Aunque sea dentro de una limitación algo arbitraria de las variables que definen sus agentes artificiales, cuenta con *todos* los valores que *pueden* tomar dichas variables, sin excluir posibilidades porque en principio nos resulten intuitivamente irracionales o inmorales.

en la complejidad de un modelo que debería en principio ser lo más simple posible, reside en el hecho de que la inclusión de nuevas variables da lugar a resultados diferentes de los obtenidos en modelos más simples. La prueba de que pese a esta divergencia los modelos más complejos siguen siendo adecuados es que coinciden plenamente con aquellos otros más esquemáticos, en experimentos —virtuales y reales— bien conocidos y formalizables. Así, pues, los modelos informáticos que incluyen gran variedad de características en la representación de sus agentes y mundos incluyen —y coinciden en sus resultados— a otros más básicos, pero éstos, a la inversa, no pueden dar cuenta de otras propiedades que emergen en los entornos más sofisticados, o en la propia realidad. En el caso de Skyrms, sus simulaciones se encuentran en un idóneo término medio entre la pura formalidad analítica y los modelos que por contener numerosas variables escapan a tales análisis.

Por mi parte, mostraré que los resultados de mis modelos coinciden con los de Skyrms, pero pueden ir más allá de éstos al introducir nuevas posibilidades, tanto en los algoritmos que toman decisiones (agentes artificiales) como en los entornos donde se desenvuelven. No sería vano trazar muy brevemente una especie de analogía con el procedimiento, ya canónico en ética, del “equilibrio reflexivo”⁷³. En nuestro caso, este equilibrio podría a su vez encontrarse a dos niveles. Por un lado, podríamos establecer algo así como un “equilibrio reflexivo” entre los resultados de diversas simulaciones. En este sentido, diríamos que los modelos ya conocidos (el de Skyrms, por ejemplo) proporcionan el punto de referencia, análogo a las intuiciones morales, al que tendrían que ajustarse otros modelos (el mío) cuya validez se quiere contrastar. Por otro lado, tendríamos el equilibrio reflexivo convencional, entre nuestras intuiciones morales reales —o nuestro conocimiento de ciertos hechos— y los resultados que proporciona la simulación. En el primer nivel, y aunque la simulación pretenda ofrecer conclusiones o sugerencias nuevas, tanto su funcionamiento como esas conclusiones han de coincidir más o menos con conclusiones ya probadas por otros autores. Sólo así podemos aventurar que el nuevo modelo es adecuado, dada la complejidad del mismo. En el segundo nivel, el acuerdo entre los resultados que arroja un modelo en sus variantes más simples y formalmente aprehensibles, de un lado, y los hechos o intuiciones *reales*, del otro, es una garantía de que otros resultados nuevos también pueden ser aceptables. Y si el modelo está suficientemente validado por estos equilibrios reflexivos, los posteriores resultados que *no* se ajusten a nuestras expectativas “naturales” no serán tanto un error, sino más bien un síntoma de que tal vez haya que revisar o ampliar —al menos en parte— las teorías recibidas.

⁷³ La expresión es debida a Rawls, quien además puntualiza que “the process of mutual adjustment of principles and considered judgments is not peculiar to moral philosophy”. Rawls, 1999, p. 18.

Prosiguiendo con las aportaciones de Skyrms teníamos, como queda dicho, un mayor realismo en el sentido de que las estrategias menos exitosas vayan desapareciendo. Cabe concebir que esta supervivencia de los más aptos no sea sólo un enfoque privativo de la biología, sino también plenamente aplicable a maximizadores racionales, que irán adoptando las estrategias que muestren ser más efectivas.

Además, las poblaciones consideradas por Skyrms son más numerosas —y en principio *finitas*— y lo que es más importante, presta una mayor atención a las relaciones de vecindad, es decir, la probabilidad de que los agentes interactúen más frecuentemente con ciertos individuos, en lugar de encuentros del tipo “todos contra todos”⁷⁴. Estos aspectos ya habían sido tenidos en cuenta por Axelrod, aunque la regla que éste emplea para determinar el éxito adaptativo de una estrategia en el paso de una generación a otra es en principio un tanto arbitraria, si consideramos por ejemplo el siguiente caso:

The relatively successful individuals are selected to have more offspring. The method used is to give an average individual one mating, and to give two matings to an individual who is one standard deviation more effective than the average.⁷⁵

Cabría preguntar por qué no tres, en lugar de dos, sin contar con que sería más adecuado contar también con el tamaño absoluto de la población. El criterio empleado por Skyrms —tomado de Maynard Smith— resuelve estas dificultades: cada estrategia va ocupando porciones de la población *estrictamente* proporcionales al éxito que ha obtenido en la generación previa, según una ecuación que posteriormente sería bautizada por Schuster y Sigmund como “replicator dynamics”⁷⁶). Esta regla de cálculo es la más habitual en simulaciones que modelan la evolución biológica, aunque es discutible que sea una representación correcta del crecimiento de estrategias en una población cuando la evolución es cultural (por imitación). Existen sin embargo otras reglas, cuyo análisis completo se ofrece en el capítulo 3.3. Por ejemplo, en el test evolutivo que Danielson lleva a cabo en *Artificial Morality*, es la estrategia con *mejor promedio* la que se apropia de *toda* la población. Por otra parte, en un primer estudio de las relaciones espaciales en la evolución de la cooperación, Axelrod proponía otra regla según la cual la estrategia que considerada en su rendimiento *individual* en los diferentes agentes (no en promedio) había obtenido mejores resultados, es la que resulta copiada o heredada por sus vecinos⁷⁷. En el

⁷⁴ El término empleado por Skyrms, Danielson y Axelrod es “robin tournament” al que me referiré igualmente como “liga”.

⁷⁵ Axelrod, 1997, pp. 18 – 19

⁷⁶ *Cfr.* Schuster y Sigmund, 1983

⁷⁷ La importancia de las relaciones espaciales ya había sido señalada por Axelrod a principios de los 80 (*cfr.* Axelrod, 1986, pp. 150 – 160), aunque sin profusión de simulaciones (probablemente debido a limitaciones en el hardware disponible por entonces).

contexto del autómatas celular estos diferentes criterios se conocen como “reglas de transición”⁷⁸, pues determinan el estado en que se encontrará una celda en la generación t en función de los estados de otras celdas en la generación previa ($t - 1$). En 3.3.1 se discutirá para qué tipo de simulaciones unas u otras reglas pueden ser más realistas o apropiadas.

Las primeras simulaciones de Skyrms (*Evolution of Social Contract*) se conducen según la regla “replicator dynamics”. Pero en *Stag Hunt*, sobre todo debido a la introducción de simulaciones donde la evolución tiene lugar en un contexto espacializado, emplea también la regla que llamaremos “utilidad esperada”⁷⁹. En esta obra reciente Skyrms ha sido uno de los primeros autores en analizar con más detenimiento la influencia que tienen estos diferentes criterios para calcular el éxito “reproductivo” de una estrategia. Los resultados proporcionados por las simulaciones pueden llegar a variar bastante en función de la regla según la cual se calcula la proporción en que aparece una estrategia dentro de la población. Por lo tanto, es preciso detenerse a examinar de qué tipos de dinámica (evolución biológica o cultural) son modelo estas diversas reglas. Según he adelantado ya, el capítulo 3.3 lo dedicaré a profundizar en este análisis, mostrando las similitudes que guardan estas reglas de transición en modelos evolutivos con los criterios de elección empleados habitualmente en teoría de la decisión (regla maximax, maximin, utilidad esperada, etc.)

La importancia que en *Stag Hunt* Skyrms da a las relaciones espaciales entre los agentes es otra ampliación conceptual respecto de Danielson, quien en principio no cuenta con ellas, en la medida en que se vinculan demasiado al concepto de selección de parentesco (*kin selection*). En efecto, si la dinámica evolutiva se inscribe en un marco compartimentado en vecindarios⁸⁰, podría interpretarse que las conductas cooperativas se ven favorecidas por lo que serían —al menos a nivel biológico— lazos de consanguinidad. Y esto, una vez más, representa un problema a la hora de probar que cierta restricción del egoísmo tiene que redundar en beneficio del individuo, y no de la especie o de los genes. Sin embargo, si dejamos al margen la dimensión normativa, una simulación que sí cuente con relaciones espaciales será desde un punto de vista descriptivo mucho más apropiada. Si aceptamos como un hecho empírico que en la naturaleza, tanto a nivel biológico como social, las interacciones no están regidas por un completo azar, sino

⁷⁸ Cfr. *infra* 3.3

⁷⁹ Más adelante (3.3) se explicará el significado y funcionamiento de estas reglas. En particular, la sección 3.3.3 estará dedicada a las dificultades que se presentan a la hora de implementar la regla Replicator dynamics cuando las interacciones están inscritas o delimitadas en grupos dentro de la población total.

⁸⁰ Veremos que los vecindarios no tienen por qué ser espaciales, sino que hacen referencia, en general, al hecho de que en la realidad los agentes (ya sean amebas o seres humanos) tienden a interactuar con determinados individuos más que con otros. Aunque no es la única, una forma intuitiva de resaltar este *hecho* es considerar estas interacciones selectivas debido a limitaciones espaciales.

encauzadas por la formación de grupos, esto aporta un argumento más para justificar la validez de un modelo informático: tendremos ocasión de experimentar con ambas clases de modelos, siendo los resultados claramente más próximos a la realidad cuando contamos con limitaciones espaciales.

Otro aspecto a destacar que encontramos en los ensayos de Skyrms es su atención a otro tipo de situaciones, además del conocido DP, que en el marco de la teoría de juegos pueden ser una representación adecuada de ciertos dilemas morales o sociales. Entre ellos cabe destacar el juego conocido como “Ultimátum”, donde la evidencia empírica contradice abiertamente las predicciones de la teoría heredada, sin que haya hasta el momento una explicación completamente satisfactoria de estas anomalías. Otro juego relativamente poco estudiado, y del cual Skyrms se ocupa extensamente, es el que da título a su segundo libro “Caza del venado” (*Stag Hunt*)⁸¹, que puede interpretarse como un modelo de las condiciones por referencia a las cuales cobra su sentido la noción de un contrato social (capítulo 4.7). Este juego, que presenta dos equilibrios de Nash, servirá también para discutir el supuesto del conocimiento común que cada agente tiene acerca de la racionalidad de los demás.

Por último, y aunque queda fuera de la investigación que proponemos aquí, cabe mencionar que Skyrms aborda también en detalle la evolución de la comunicación, valiéndose igualmente de experimentos simulados. Hay asimismo una primera aproximación al tema en Axelrod⁸², mostrando ambos autores —desde este enfoque evolutivo— la importancia que la posibilidad de comunicarse, no importa cuán primitivo sea el sistema de signos, favorece las conductas altruistas o cooperativas.

⁸¹ Para quien no conozca estos juegos y desee en este punto hacerse una primera idea de ellos, las correspondientes explicaciones se encuentran en las secciones capítulo 4.5 y 4.7, respectivamente.

⁸² *Cfr.* Axelrod, 1986, pp. 140 – 144

1.3.6 Resumen

Hemos visto cómo a partir de Darwin y Maynard Smith la teoría de juegos y de la evolución se unen en una tradición teórica cuyo concepto básico es la estrategia evolutivamente estable (EEE), el cual, por su parte, tiene su antecedente directo en una noción clave de la economía, a saber, el equilibrio de Nash. A su vez, esta teoría de juegos evolutiva recibe en autores como Axelrod, Danielson o Skyrms una ampliación en su metodología, que valiéndose de modelos informáticos permite un estudio de sistemas y procesos que por su complejidad escapen al análisis axiomático característico de la teoría de juegos. Junto con el modelo matemático conocido como *replicator dynamics* y con la idea de “regla de transición” —tomado del mecanismo cibernético conocido como autómata celular— el objetivo es centrar este enfoque multidisciplinar en un punto de interés para la filosofía moral, en este caso, mostrar la evolución de patrones de conducta o estructuras normativas que no se pueden explicar según la concepción heredada de la racionalidad instrumental.

1.4 Recapitulación: del reto de Trasímaco a la “Filosofía moral experimental”

Hasta aquí, pues, un breve repaso a la historia del enfoque teórico que seguirá la presente investigación, en lo que respecta al uso de simulaciones, al concepto de agentes artificiales y al componente evolutivo de estos modelos. Es evidentemente que este estudio, centrado en el conflicto entre racionalidad y moralidad, tiene raíces mucho más lejanas que las esbozadas en los epígrafes previos. Aunque nos centremos en una tradición de la filosofía moral relativamente reciente, las perplejidades suscitadas por esa doble tendencia entre la satisfacción de nuestros intereses y lo que debemos hacer son el punto central de cualquier investigación ética, por diversos que sean los modos de entender la racionalidad y la moralidad. Si nuestro enfoque tiene sus orígenes en pensadores como Bentham, Mill o incluso Hume, la razón fundamental es que en ellos se manifiesta el proyecto marcadamente moderno de *cuantificar* la realidad. En este caso, la realidad moral. Sin cometer el error lógico que ya advirtiera Hume, consistente en concluir juicios de valor a partir de juicios de hecho⁸³, la ética considerada aquí puede catalogarse como naturalista. Y puesto que ya no podemos escapar a la visión “matematizante” de la naturaleza iniciada con la ciencia moderna, la idea de medir la bondad de las acciones que adoptamos no puede ser casual. Quizá también porque con el individualismo moderno este conflicto entre moralidad y racionalidad queda mucho más a la vista que en modos de pensar previos. En un párrafo que resume bien la nueva situación, MacIntyre observa que:

⁸³ Cfr. Hume, 1978, libro III, sec. 1.

En los siglos XVII y XVIII la moral llegó a ser entendida, por lo general, como una oferta de solución a los problemas planteados por el egoísmo humano, y el contenido de la moralidad llegó a ser identificado con el altruismo. En el mismo período se comenzó a pensar en los hombres como egoístas por naturaleza en cierta medida peligrosa; y cuando pensamos que la humanidad es por naturaleza peligrosa, el altruismo se hace a la vez socialmente necesario y aparentemente imposible y, cuando se da, inexplicable. En la opinión aristotélica tradicional no existen tales problemas. Lo que me enseña la educación en las virtudes es que mi bien como hombre es el mismo que el bien de aquellos otros que constituyen conmigo la comunidad humana. No puedo perseguir mi bien de ninguna manera que necesariamente sea antagónica del tuyo, porque *el* bien no es ni peculiarmente mío ni tuyo, ni lo bueno es propiedad privada. De aquí la definición aristotélica de amistad, la forma fundamental de relación humana, en términos de bienes que se comparten. Así, en el mundo antiguo y medieval, el egoísta es alguien que ha cometido un error fundamental acerca de dónde reside su propio bien y por eso se autoexcluye de las relaciones humanas.⁸⁴

Pese al contraste, de este conflicto que se nos presenta a cualquiera en la experiencia cotidiana ya podemos encontrar su primera formulación explícita en *La República*, donde Sócrates afirma que el hombre justo es más feliz que el injusto⁸⁵. Lo que Platón intenta probar mediante el diálogo entre Sócrates, del lado de la justicia, y Trasímaco y Glaucón del lado de la “injusticia”, es en su esencia quizá el problema básico de la filosofía práctica. Si la argumentación de Platón puede no resultar del todo convincente, lo cierto es que nuestras intuiciones morales, la moral del sentido común, se resisten a aceptar el hecho de que el hombre injusto sea feliz. La presente investigación está dirigida en gran parte a este antiguo problema, pero, como queda dicho, acercándonos a él desde la tradición que a grandes rasgos cabe denominar utilitarista. El dilema quedará expresado de un modo análogo, haciendo valer la consecución de la felicidad (o al menos la mayor felicidad posible) como fruto de la racionalidad y sustituyendo lo que aquí Platón llama “ser justo” por la moralidad.

Puesto que para Platón —y en mayor o menor medida para el pensamiento antiguo y medieval en general— hay una cierta identidad entre racionalidad, felicidad y justicia, la solución pasa por desenmascarar lo que sólo son bienes *aparentes*, mostrando la existencia de algo que es la *auténtica* felicidad, la cual se alcanza mediante la justicia. Desde la perspectiva moderna que adoptamos aquí la empresa se presenta algo más complicada, pues ya no habrá una idea objetiva del bien, sino que éste consistirá en lo que cada sujeto se proponga obtener. En tal

⁸⁴ MacIntyre, 1987, p. 281

⁸⁵ *Cfr.* Platón, 2000, libro II

caso, será racional la acción que contribuya a alcanzarlo, e irracional la que nos aleje de ese objetivo. El problema moral ya no consiste, como para el pensamiento griego, en que la injusticia impide la *propia* felicidad. La cuestión del *qué hacer* surgirá ahora cuando en la búsqueda de nuestro interés podamos perjudicar los intereses ajenos.

Mi objetivo es, por tanto, contribuir a un programa de investigación moral que planteado ya por Platón, es tal vez el más distintivamente característico de la modernidad, el que más probabilidad tiene de conectar la teoría moral con el ámbito de las ciencias sociales e incluso naturales. Con esa ambición, este programa emplea supuestos compartidos por otras ciencias y enfoques, así como un método, la simulación, que ha mostrado su virtualidad como complemento a los métodos deductivo e inductivo y experimental en tiempos muy recientes. Confío en el valor de esta aportación para poder, tras los pasos de autores mencionados, iluminar en parte algunos de los problemas que ellos han dejado planteados, y superar algunas carencias de sus teorías.

2. Definiciones y método de la investigación

2.1 Definiciones operacionales

2.1.1 Necesidad de un marco teórico

Por tratarse de un trabajo semi-empírico, es importante proporcionar lo que en sociología se denominan “definiciones operacionales”. En el planteamiento de una investigación es necesario hacer explícito aquello que nos proponemos conocer, por eso es imprescindible definir el problema que se va a investigar.

No existen hechos o fenómenos de la realidad que puedan abordarse al margen de una conceptualización adecuada. Cualquier investigación que plantea un problema, no lo hace en el vacío, como si se diesen en la realidad hechos puros de los cuales no tenemos más conocimiento que aquello que se nos ofrece a los sentidos. En este respecto, adoptaré la postura que expresa Gilberto Gutiérrez, que sin entrar en el debate entre positivistas y pragmatistas acerca de si hay o no hechos independientes de cualquier teoría, declara que “la formulación de las oraciones observacionales más primitivas presupone al menos determinados *criterios* de selección y clasificación de los datos”⁸⁶, por más que éstos no tengan todavía un carácter preciso y sistemático.

Un *marco teórico y conceptual* no tiene el propósito, pues, de encasillar la investigación en una serie de prejuicios orientados a confirmar la conclusión a la que queremos llegar, sino simplemente proporcionar a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos que permitan enfocar el problema⁸⁷. Se trata de poner en claro para el propio investigador sus postulados y supuestos, recoger los frutos de investigaciones anteriores y orientar el trabajo de un modo coherente. En otras palabras, colocar el problema en un contexto delimitado por un conjunto de conocimientos, que permita orientar la búsqueda y ofrezca para los términos más empleados una conceptualización carente de ambigüedades⁸⁸.

⁸⁶ Gilberto Gutiérrez, 2000, p. 41

⁸⁷ En este sentido convendría sin duda retirar al concepto de “prejuicio” su carga peyorativa, y considerarlo de un modo más neutro, en la línea propuesta por Gadamer, simplemente como un “juicio previo”.

⁸⁸ Por ejemplo, todo el mundo sabe lo que es “ir a trabajar” y “faltar al trabajo”. No obstante, en un estudio empírico de absentismo, hay que redefinir el uso del término: “absentismo” sería no estar en el lugar de trabajo en día laborable en el turno específico (por cualquier causa). Además, habrá que especificar cómo se usa el concepto en el estudio. Por ejemplo, si catalogamos como absentista al trabajador que incurre en absentismo un determinado número de días al mes, etc. Justificando, por otra parte, por qué se adopta éste criterio en lugar de otro igualmente posible.

Las definiciones de este capítulo, pues, son necesarias porque aunque son términos muy habituales en las ciencias sociales, a veces los referentes son distintos, lo cual podría dar lugar a ciertas confusiones. Por tanto, la presentación de estas nociones vendrá de la mano del uso que hacen de ellas los autores que estudiaremos, y siempre que sea oportuno señalaré los matices que puedan encontrarse en cada uno de ellos. Adicionalmente, estas precisiones servirán para mostrar cierta contradicción presente en el modo consecuencialista ingenuo (o simple) de entender la racionalidad⁸⁹.

2.1.2 Acción racional

Comenzaremos por la noción de “acción racional” y las relaciones que guarda con el egoísmo y el altruismo, entendido éste como la consideración de los intereses ajenos, y aquél como la atención exclusiva a los intereses propios. Los tres conceptos tienen una historia que se dilata hasta los orígenes de la reflexión ética y son inseparables de ésta, con una polisemia que es preciso acotar para evitar malentendidos. Partiremos del sentido más amplio que quepa darle al concepto de racionalidad, y a partir de allí iremos añadiendo progresivos grados de especificidad. Tomo de Gilberto Gutiérrez una cita que nos permite comprender la dimensión valorativa, inseparable de la racionalidad práctica, en su forma más general:

[...] existe un sentido mínimo de “racional” —llámese *racional*₁— que hace verdadero por definición que toda acción es racional por el hecho mismo de ser acción y no una mera reacción o respuesta refleja, esto es, algo que alguien *hace* y que no simplemente *le pasa*. [...] En este sentido mínimo, “racional” entra en la definición misma de acción; aunque ello no equivale a considerarla meramente tautológica y que no informe de nada no sabido de antemano.

Pero [...] hay al menos otro sentido de “racional” —por ejemplo, *racional*₂— según el cual no toda acción que es *racional*₁ es ipso facto *racional*₂. Es el empleado [...] al calificar una acción de inteligente o acertada, de estúpida o imprudente o incluso de inmoral. Este uso presupone un canon, norma o criterio, no necesariamente moral, al que la acción *debería* —el verbo es importante— haberse ajustado⁹⁰.

Realizamos así una primera reducción semántica, que perfila el concepto de racionalidad por su carácter normativo, aunque como queda indicado en el texto, todavía no necesariamente moral. A continuación introduciremos una nueva división, que nos remite a dos modos ya clásicos de entender la racionalidad, fácilmente encuadrables bajo los rótulos “racionalidad

⁸⁹ Esta puntualización viene motivada porque el modelo de racionalidad presente en los agentes artificiales es en principio consecuencialista. *En principio* porque realmente no cabe atribuir a un algoritmo ningún tipo de intencionalidad; y sin embargo, si nouviésemos constancia de que son robots, podríamos suponer alguna finalidad a sus acciones observables.

⁹⁰ Gilberto Gutiérrez, 2000, p. 20.

sustantiva” y “racionalidad instrumental”, por denominarlas según la dicotomía que la escuela de Frankfurt ha hecho conocida. Al margen de este bautismo, también encontramos categorías análogas, aplicadas a la acción, en los conocidos ideales tipos de Weber: *wertrational* y *zweckrational*. O si queremos retroceder a un planteamiento aun más clásico, hallamos una distinción semejante en la razón *pura* práctica de Kant, por un lado, y la razón práctica cuando su fundamento es *empírico* (material). Mientras que la primera es capaz de proponerse fines propios, necesarios por su concordancia formal con una posible legislación universal, la segunda correspondería a la racionalidad instrumental, limitada al ámbito de los imperativos meramente hipotéticos (sin evaluar los fines). A su vez, esta racionalidad de los medios ya había sido señalada por Hume como esclava de las pasiones, quien a diferencia de Kant había reducido *todo* el alcance de la racionalidad a dicha esclavitud. Estas breves referencias y sus respectivas denominaciones no pretenden abarcar todos los modos posibles de concebir lo que sea la acción racional. Sin olvidar que los enfoques que he enumerado merecerían sin duda numerosas acotaciones y matices, la única intención al mencionar estas maneras de concebir la racionalidad práctica es situar los conceptos en un marco de referencia bien conocido que permitan orientar al lector.

Esto no significa que la llamada racionalidad instrumental carezca necesariamente de una dimensión moral, ni que la acción orientada a valores agote todo el campo de la moralidad. Afirmar o negar alguna de estas tesis dependerá precisamente del tipo de teoría moral que adoptemos. Sin necesidad de entrar en este debate, lo que sí podemos establecer es que la acción racional en torno a la cual gira esta investigación es la que responde a la idea de racionalidad *instrumental*. La teoría de la decisión en general y la de juegos en particular, tanto en sus vertientes descriptiva como normativa, no entran a valorar la racionalidad de los fines, sino que limitan su objeto a la racionalidad de los medios, en la medida en que éstos sean los apropiados para alcanzar el fin propuesto.

Finalmente, tenemos un paso más en esta especificación de lo que entendemos por racionalidad práctica si evaluamos esa idoneidad instrumental de los medios respecto de los fines en términos plenamente cuantificables. Llegamos por fin a la noción de acción racionalidad en tanto que maximización de la utilidad, tal como explica Gauthier en *La moral por acuerdo*:

[...] hablamos del interés y los intereses de cada persona y relacionamos la racionalidad con la satisfacción del interés individual y la moralidad con una restricción imparcial en la búsqueda de ese interés. Pero el interés es un concepto que oscila incómodo entre la perspectiva del propio individuo y la del otro. La teoría de la elección racional considera primordial un concepto aun más claramente subjetivo y conductista que el interés, la relación de *preferencia individual*. La preferencia se

relaciona con las situaciones; [...] la teoría de la elección racional se interesa primariamente por las preferencias entre situaciones, concebidas como posibilidades de acción alternativas y realizables. Por consiguiente, estas situaciones no son objetos directos de elección, sino que más bien son resultados posibles de las acciones que uno puede elegir realizar. [...]

En su sentido más general, la racionalidad práctica se identifica con la maximización. Por lo tanto los problemas de la elección racional son de un tipo matemático bien conocido: uno apunta a maximizar cierta cantidad sujeta a cierta restricción. La cantidad que se busca maximizar debe estar vinculada con la preferencia; [...] la teoría de la elección racional define una medida precisa de la preferencia, la *utilidad*, e identifica la racionalidad con la maximización de la utilidad.⁹¹

Además de precisar el sentido en que entenderemos la racionalidad, este texto nos pone frente a la idea de moralidad que nos interesa asociar —en principio por oposición— a dicha racionalidad.

Quisiera comenzar destacando la primera frase de esta cita (“[...] hablamos del interés y los intereses de cada persona [...]”) en relación con una definición procedente de la ciencia económica que está siempre al acecho, amenazando con hacer imposible este enfoque de Gauthier. El agente que estudia la economía es el famoso *homo economicus*, el sujeto que *siempre* satisface su interés, que siempre maximiza *su* utilidad. Tanto es así, que cuando se habla de maximizar la utilidad se entiende invariablemente, por definición, que es la utilidad *propia*. Según esto, incluso una acción que respondiese a “la restricción en la búsqueda del interés individual” sigue siendo ella misma parte del propio interés individual⁹². Así, resulta que el interés es algo que por su propia semántica no se puede restringir.

Sin embargo, como vemos, Gauthier define inicialmente la moralidad como “restricción imparcial del interés”. En este punto, la teoría económica convencional y la filosofía moral, han de tomar caminos divergentes. Es importante, por tanto, detenerse un instante para comprender el alcance de esa divergencia.

⁹¹ Gauthier, 2000, p. 42

⁹² Obviamente no se puede tratar de una restricción masoquista, en favor de nadie. Al inicio de *Introducción a la ética*, por ejemplo, Williams (1987, pp. 25 – 26) caracteriza la moralidad como la capacidad de tener en cuenta los intereses *ajenos*.

2.1.3. Moralidad como restricción imparcial del interés individual: ampliación del marco conceptual clásico

Desde el punto de vista expuesto en el apartado previo, el concepto de moralidad propuesto por Gauthier es imposible, y el de racionalidad es necesario. No cabe concebir qué es un comportamiento irracional, en la medida en que no cabe pensar qué puede querer decir que alguien obra restringiendo su propio interés. Y por el lado de la racionalidad, la consecuencia inmediata es que su concepto pierde cualquier contenido (se hace tautológico). De ser así, el proyecto de justificar racionalmente la moralidad ya no sería siquiera formulable; no se trata simplemente de que fuese un proyecto destinado al fracaso, sino que su mismo planteamiento resultaría ininteligible.

Recordamos aquel sentido, *racional₁*, en el que siempre se podía afirmar a la vista de una acción, que el sujeto *por algo lo hará*. Si el sujeto en cuestión es ahora el famoso *homo economicus*, la conjetura de que sus razones habrá tenido se expresa en este caso suponiendo que “*de algún modo* estará maximizando su utilidad”. Este corolario procede de una estipulación, de una reducción que, es cierto, se acepta por su poder explicativo en las ciencias sociales. Pero por lo demás, nada impide que definamos las cosas de un modo algo diferente si con ello podemos ampliar el alcance explicativo hasta cubrir fenómenos de los cuales la teoría heredada no puede dar cuenta; un modo que además de dar contenido al concepto de racionalidad permitiese introducir por contraposición —aunque sólo sea parcial— el de moralidad.

Lo fundamental es notar que si hablamos de interés individual (de uno mismo), también es posible hablar del interés *del otro*. El economista ortodoxo dirá que si obro intentando satisfacer el interés de otro, no por ello dejo de estar maximizando *mi* interés⁹³. Pero, podemos replicar, para dar esta respuesta es inevitable seguir distinguiendo lo que son los intereses propios de los ajenos; al menos de lo que uno *cree* que son esos intereses del otro.

La noción de racionalidad característica de la economía tiene su origen en el estudio de las situaciones llamadas paramétricas⁹⁴. En éstas no hay un *otro*. Por ello a la economía le resultan tan sospechosas las comparaciones de utilidad y la noción de preferencia como un estado mental que en parte (junto con las creencias) determina la acción. Pero en las situaciones estratégicas, que son propiamente las estudiadas por la teoría de juegos, sí hay *otro* sujeto, del cual se conocen —o por lo menos se conjeturan— sus preferencias, sus intereses.

⁹³ Esto no es otra cosa que el clásico argumento según el cual toda forma de altruismo es en el fondo egoísmo encubierto.

⁹⁴ A lo largo de esta exposición hablaremos de situaciones y racionalidad que pueden ser *paramétricas* o *estratégicas*. Procuraré aclarar aquí estos conceptos de los que se vale Elster (1998, pp. 24 – 25) para una explicación más detallada). El primero hace referencias a aquellas situaciones en las que un agente, para tomar sus decisiones, sólo debe contar con los *acontecimientos*, que podrán o no ocurrir, con mayor o menor certidumbre. En el segundo caso, la decisión ha de considerar también las decisiones que otros agentes pueden tomar, así como, recíprocamente, las expectativas de éstos sobre las propias decisiones y expectativas del primer agente.

Por otra parte, para poder decir que tenemos alguna idea de lo que son los intereses ajenos *con anterioridad* a la acción, hace falta contar, además de la preferencia revelada, con la preferencia manifestada (sea por el medio que fuese). Al respecto escribe Gauthier:

Para el economista, la elección sólo es accesible a la observación. La racionalidad es asumida dondequiera que sea posible [...] Las preferencias no se dan como datos, sino que se infieren; [...] En la perspectiva del economista, la preferencia se manifiesta [= revela] en la elección *y no tiene una significación operativa independiente* [la cursiva es mía].

[...] Ciertamente, las elecciones ponen de manifiesto las preferencias; [...] lo que debemos rechazar del enfoque economicista es la insistencia en afirmar que la elección nos brinda el único acceso a la preferencia.⁹⁵

En 1.1.2 ya habíamos indicado cómo esta idea de la preferencia revelada, introducida por Samuelson, representaba la última etapa en un progresivo intento de liberar el concepto de utilidad de cualquier carga psicológica. La teoría de juegos clásica se desmarca de este supuesto tan restrictivo, por cuanto la propia posibilidad de un juego *exige* conocer las preferencias de los agentes ya antes de su elección. En la mayoría de los casos (juegos de información completa) se entiende que los jugadores conocen no sólo sus propias preferencias, sino también las de los demás. Esta necesidad queda más de manifiesto si consideramos la dimensión normativa de la teoría de juegos, pues se trata, precisamente, de *prescribir* una acción en función de estas preferencias, y no sólo de explicarla o describirla *a posteriori*.

Con todo, la racionalidad de las acciones sigue sujeta por definición a la maximización de estas funciones de utilidad, conocidas con anterioridad a la acción. Y si queremos abordar el conflicto entre racionalidad y moralidad sin reducir ninguna de las dos a la otra como punto de partida⁹⁶, Danielson observa muy acertadamente que nuestro método requiere un “nuevo espacio conceptual”:

If preferences are what define a situation [...], then we cannot allow as well that preferences are what determine what our players do [...] *there must be a gap between preferences and behaviour or there is no need for a theory or rational choice*. One doesn't need a *theory* to tell him to take oranges over apples if he prefers oranges to apples. [...] The received theory is committed to a strongly unified thesis: rationality only requires one *concept*, preference, to account both for player's motivations and the structure of their situations. If we are to dispute this thesis [...] we need at least the conceptual space to define an alternative. [...] Otherwise [...] the structure of the situation determines what players do and there is no room for rational or moral theory to make a difference.⁹⁷

⁹⁵ Gauthier, 2000, pp. 48 – 49.

⁹⁶ Una perspectiva en la que ambos conceptos serán compatibles es precisamente lo que se propone encontrar Gauthier. Pero esta relación tiene que ser la conclusión, y no parte de las premisas de la argumentación.

⁹⁷ Danielson, 1992, p. 108.

Concretándola en la simulación, esta ampliación conceptual consistirá precisamente en que los agentes puedan no sólo maximizar su utilidad, sino también, eventualmente, *maximizar la utilidad ajena*. La condición de posibilidad de este marco teórico ampliado consiste en diferenciar entre las funciones de utilidad de los sujetos, totalmente formales y vacías, y los objetos de elección —materiales, digamos— ordenados en dicha función. Para aclarar esta afirmación pensando en términos menos abstractos, conviene reparar en que a la hora de tomar decisiones, lo que nuestras preferencias ordenan son posibles estados de cosas, compuestos por objetos reales, ya sean materiales o “espirituales”, tales como coches, manzanas, cantidades de dinero, pero también tranquilidad, prestigio, conocimiento, etc. Podemos llamar a esto el componente *material* de nuestra elección. El objeto de nuestras decisiones —como agentes reales— no se plantea nunca en términos de “maximice usted su función de utilidad”, cosa que sería su expresión máximamente *formal*.

En 2.1.5 veremos con un ejemplo concreto la implementación de esta distinción en agentes artificiales, indagando hasta qué punto podría ser un modelo de cómo los agentes reales tomamos decisiones cuando consideramos no sólo nuestros intereses, sino también los de los demás. Asimismo veremos la relación entre esta separación (el objeto material de la elección y la ordenación formal en una función de utilidad) y las diferencias entre racionalidad y evolución, según lo que Danielson (siguiendo a Levine y Sethi) denomina modelos de dos niveles (“two-level models”) cuya idea básica consiste en:

[...] using an evolutionary mechanism to generate and select agents’ preferences while a rationality mechanism uses those preferences to select strategies.⁹⁸

Llegados a este punto no es posible continuar sin introducir por fin una definición formal de “juego”. El breve apartado que viene a continuación responde a este propósito, aprovechando también la ocasión para ilustrar el concepto con un ejemplo, el dilema del prisionero (DP), clásico ya a la hora de representar desde la teoría de juegos el conflicto entre racionalidad y moralidad que hemos introducido hasta aquí. El lector familiarizado con la noción general de “juego” y con el DP en particular puede pasar directamente a la sección 2.1.5.

⁹⁸ Danielson, 2004, p. 433

2.1.4 Exposición formal del concepto de “juego” y presentación del DP

La primera caracterización formal de lo que es un juego se encuentra en *Theory of Games and Economic Behaviour*⁹⁹. Después de Von Neumann y Morgenstern han seguido incontables precisiones y depuraciones, o simplemente exposiciones más accesibles del concepto de “juego”, entre las que podemos destacar *Games and Decisions* de Luce y Raiffa, *Choices* de Resnik o *Fun and Games* de Binmore. Estas introducciones son ya clásicas, pero en esta ocasión me valdré del esbozo que Rapoport presenta en la introducción de *Game Theory as a Theory of Conflict Resolution*. Entiendo que esta exposición está especialmente bien condensada y carece de cualquier oscuridad que la notación matemática puede suscitar en ocasiones¹⁰⁰. Obsérvese que su definición de lo que es un juego viene también dada por referencia al conflicto, aunque ya habíamos advertido en 1.1.1 —y tendremos pronto ocasión de volver a constatar— que puede haber juegos sin conflicto de intereses, o por lo menos sin un conflicto completo. En el segundo párrafo hay dos condiciones propias de la teoría de juegos clásica, y que también merecen un comentario:

La teoría de juegos puede definirse formalmente como una teoría de la decisión racional en situaciones de conflicto. Los modelos de tales situaciones [juegos], tal como son concebidos en la teoría de juegos, consisten en 1) un conjunto de decisores, llamados *jugadores*; (2) un conjunto de *estrategias* disponibles para cada jugador; (3) un conjunto de *resultados*, cada uno de los cuales es producto de las elecciones particulares que cada jugador hace de sus estrategias en una cierta jugada [play] del juego; y (4) un conjunto de *pagos* asignado a cada jugador en cada uno de los posibles resultados.

Se supone que cada jugador es “individualmente racional”, en el sentido de que su orden de preferencias sobre los resultados está determinado por el orden de magnitudes de sus pagos asociados (y sólo de los suyos). Además, un jugador es racional en el sentido de que asume que cada uno de los demás jugadores también es racional en el sentido arriba indicado. Al escoger su estrategia, el jugador racional tiene en cuenta el conocimiento de los pagos del otro jugador, pues esto le da información acerca de cómo son tomadas las decisiones del otro.¹⁰¹

Para evitar confusiones, es necesario hacer cuatro puntualizaciones (las dos primeras puramente terminológicas) sobre estos dos párrafos:

⁹⁹ Cfr. von Neumann y Morgenstern, 1947, pp. 49 – 51, 55 – 60.

¹⁰⁰ Evidentemente, cuanto mayor sea la formación matemática del lector, el rigor que proporciona la notación matemática contribuye por el contrario a la *claridad* de la exposición. Pero creo más conveniente en este momento expresar estos conceptos en el lenguaje más natural posible, evitando a la vez cualquier tipo de ambigüedad. Como queda dicho, quien esté ya familiarizado con estas nociones básicas puede prescindir de este epígrafe, o puede encontrar definiciones más detalladas en los libros anteriormente mencionados.

¹⁰¹ Rapoport, 1974, Introducción

- 1) En la literatura especializada se encuentra en ocasiones el término “agente” como sinónimo (aproximado) de “jugador”. Salvo que indique lo contrario, usaré ambos términos indistintamente.
- 2) Tal como queda especificado en la cita, se entiende normalmente por “estrategia” un *curso de acción*, como por ejemplo: elegir pares o nones, atacar al enemigo hoy mismo o esperar hasta mañana, invertir o no en una lotería, etc.¹⁰² Sin embargo, la influyente propuesta de Gauthier en *La moral por acuerdo* hace necesario ampliar este concepto. Siguiendo su idea de que la elección racional recae sobre *disposiciones* y no sólo sobre acciones puntuales, entenderemos que una estrategia es, no ya un curso de acción, sino una *regla* para, a su vez, escoger acciones. Esta regla, que en Gauthier son las disposiciones, toman la forma de conjuntos de instrucciones (algoritmos) en los agentes artificiales que protagonizan las simulaciones.
- 3) La primera condición impuesta en el segundo párrafo, que el orden de preferencias sobre los resultados esté determinado *sólo por los pagos propios*, es precisamente parte de ese marco estrecho que siguiendo a Danielson proponíamos ampliar en el apartado anterior. La he incluido en el texto para destacar lo que incluye (y lo que no) el concepto clásico de “juego”.
- 4) La segunda condición del segundo párrafo, que la racionalidad de los jugadores sea conocimiento común de todos, es un postulado que Harsanyi¹⁰³ considera fundamental pero que al adquirir la teoría de juegos un enfoque evolutivo ya no es imprescindible conservar. Por otra parte, según tendremos ocasión de ver en el capítulo 4.4, este conocimiento común de la racionalidad no garantiza que siempre se alcancen resultados que consideraríamos óptimos, incluso si no hay conflicto de intereses¹⁰⁴. Las diferencias resultantes de contar o no con este supuesto quedarán también de manifiesto en el capítulo 4.7, cuando analicemos el juego conocido como “caza del venado”, según lo presenta Skyrms en *Stag Hunt*.

¹⁰² Una definición canónica la tenemos por ejemplo en Resnik: “una estrategia es un plan que determina las elecciones de un agente bajo todas las circunstancias relevantes” (*cfr.* Resnik, 1987, p. 18). Es decir, una estrategia *predetermina* una acción para cada posible movimiento del otro jugador (o jugadores). Según anticipé en 1.2.4, el planteamiento clásico de von Neumann y Morgenstern es que, aunque en un juego los movimientos de los jugadores sean *sucesivos*, se puede diseñar por anticipado una estrategia, como *plan*, que especifique *de antemano y de una sola vez*, qué hará un jugador como respuesta a cada posible movimiento del otro, en cada punto del desarrollo del juego. Véase también Luce y Raiffa, 1957, p. 51. Además cabe trazar la importante distinción entre estrategias puras y estrategias mixtas, de la cual me ocuparé en 4.2.1, cuando llevemos el juego del Gallina a una simulación.

¹⁰³ Lo cuenta entre los llamados “postulados débiles de la racionalidad”. *Cfr.* Harsanyi, 1961, p. 179

¹⁰⁴ Esto será parte, precisamente, del problema de la selección de equilibrios, para cuya resolución es necesario especificar más en qué consiste esa racionalidad que ambos jugadores suponen el uno en el otro. En el capítulo 4.4, en relación con ciertos problemas generados en juegos de negociación, veremos que la sola definición de racionalidad como “maximización de la utilidad esperada” no alcanza para determinar una solución única.

Ahora procederé a ejemplificar cómo se entrelazan todos estos conceptos presentando el conocido dilema del prisionero. La estructura de la situación que presenta puede encontrarse en diversos tipos de interacción social, o incluso en contextos donde no intervienen agentes racionales. En la literatura aparece frecuentemente emparentado con “la tragedia de los comunes”¹⁰⁵, que viene a ser la versión *colectiva* del mismo problema; pero en su forma más conocida, con sólo dos jugadores, fue propuesto hacia 1950 por M. Flood y M. Dresher, y formalizado poco después por A. W. Tucker¹⁰⁶. Pasemos por fin a contar la historia, cuyas narraciones son tan variadas como los autores que han prestado su atención al dilema. En este caso me valdré de la versión de Gauthier, tal como aparece en la traducción española de *Morals by Agreement* (incluiré entre corchetes los diversos elementos de la situación en los términos técnicos propios de la teoría de juegos).

Fred y Ed [los *jugadores*] cometieron un grave delito (la fiscal del distrito no tiene dudas al respecto), pero parte de la prueba necesaria para asegurar una condena es, desgraciadamente, inadmisibles en el tribunal [...]. Con todo ha logrado encerrar a Fred y a Ed y mantenerlos incomunicados entre sí¹⁰⁷. Ella los ha acusado de cargos que, aunque menores, siguen siendo graves y la fiscal confía en poder obtener su condena por éstos. Los visita entonces por separado y a ambos les hace el mismo cuento y la misma proposición: “Confiese que se ha descarriado y el crimen que cometió” [*estrategia* “confesar”], le dice a cada uno, “y si su antiguo socio no confiesa, yo convenceré al jurado de que usted es un hombre reformado y su ex socio la encarnación del mal; el juez lo sentenciará a usted a un año de prisión [*pago* $T = 1$] y a él a diez [*pago* $S = 10$]. Si usted no confiesa [*estrategia* “callar”] y su antiguo socio lo hace, ya puede usted imaginar cuál será su destino. Y si ninguno de ustedes decide confesar, propondré que los condenen a ambos a dos años de prisión” [*pago* $R = 2$]. “Pero, ¿qué ocurre si ambos confesamos?” pregunta Fred (o Ed). “En ese caso”, dice la fiscal del distrito, “dejaré que la justicia siga su curso natural. Se trata de un grave delito y estimo que los condenarán a cinco años a cada uno” [*pago* $P = 5$]. Sin agregar nada más, la fiscal se retira y deja a Ed (o a Fred) en solitaria reflexión¹⁰⁸.

En su forma más abstracta —sobre todo empleada en la literatura económica para normalizar el tratamiento matemático de algunos teoremas— un juego Γ se define por los siguientes elementos:

¹⁰⁵ Cfr. Hardin, 1968

¹⁰⁶ Más que la formalización, se atribuye a Tucker el presentar la situación con la historia de los prisioneros y los resultados en términos de años de prisión, para hacer más accesibles las ideas de Flood y Dresher a quien no estuviese familiarizado con la teoría de juegos.

¹⁰⁷ En principio es irrelevante que puedan comunicarse o no, aunque en una primera aproximación al problema su comprensión resulta más sencilla suponiendo que no pueden establecer ningún contacto.

¹⁰⁸ Gauthier, 2000, pp. 115 – 116.

- Un conjunto de jugadores, $N = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$
- Un espacio de estrategias S_n para cada jugador i_n , que contiene las alternativas, s_{n1}, \dots, s_{nm} , entre las que i_n puede escoger: $S_n = \{s_{n1}, \dots, s_{nm}\}$. Un miembro genérico de este conjunto, sin especificar de qué estrategia se trata, es s_i . A menudo es necesario describir las estrategias escogidas por todos los jugadores, excepto un cierto jugador i que estemos considerando. Para este propósito, por convención se emplea la notación s_{-i} .
- Un perfil de estrategias, $r_k = (s_i, s_{-i})$, es un vector de estrategias que determina alguno de los resultados del juego. El conjunto de todos los perfiles de estrategias, S , es el producto cartesiano de los espacios de estrategias de los jugadores: $S = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$.
- Para cada jugador i , se define una función de pagos $u_i : S \rightarrow \mathbf{R}$ (donde el dominio de la función es el conjunto de perfiles de estrategias S , y el rango de la función es el conjunto de números reales \mathbf{R}) de modo que para cada perfil de estrategias $r_k \in S$ que escogen los jugadores, $u_i(r_k)$ es el pago del juego para el jugador i .

El DP tal como lo hemos descrito más arriba quedaría entonces definido como $\Gamma = [N = \{1, 2\}, S_1 = \{s_{11}, s_{12}\}, S_2 = \{s_{21}, s_{22}\}, r_1 = (s_{11}, s_{21}), r_2 = (s_{11}, s_{22}), r_3 = (s_{12}, s_{21}), r_4 = (s_{12}, s_{22}), u_1 = \{u_1(r_1) = 1, u_1(r_2) = 2, u_1(r_3) = 5, u_1(r_4) = 10\}, u_2 = \{u_2(r_1) = 10, u_2(r_2) = 2, u_2(r_3) = 5, u_2(r_4) = 1\}]$

Evidentemente esta descripción del juego es muy poco intuitiva, y su tratamiento sería sumamente engorroso. Por ello se suelen representar los juegos en lo que son su *forma normal* y su *forma extendida*. Ésta tiene la estructura de un árbol de decisiones, y es más apropiada para aquellos juegos donde los jugadores toman sus decisiones sucesivamente, es decir, uno antes que el otro. Por ahora no me referiré a esta forma, y representaremos el DP en su forma normal, que es como se lo presenta siempre. La forma normal se configura en lo que se conoce como “matriz de pagos”:

Tabla 1

Dilema del Prisionero (1)		Jugador 2	
		Calla	Confiesa
Jugador 1	Calla	R = 2 ; R = 2	S = 10 ; T = 1
	Confiesa	T = 1 ; S = 10	P = 5 ; P = 5

Con la matriz de pagos a la vista se percibe fácilmente en qué consiste la perversa estructura de este juego: *independientemente de lo que haga el otro*, a cada uno le conviene delatar¹⁰⁹. Sin embargo, si ambos se delatan mutuamente (lo cual sería ciertamente el comportamiento *racional*) a los dos les va peor que si ambos hubiesen callado. Dos agentes *irracionales* lograrían mejor, para cada uno, el propósito maximizador que prescribe la *racionalidad*.

En este primer ejemplo, los pagos se cuentan como años de prisión, y por lo tanto a cada prisionero le interesa *minimizar* esta cantidad. El *resultado* y los *pagos* son en este caso idénticos. Pero en lo que sigue, los pagos de los juegos serán expresados en su medida más abstracta, la *utilidad* que reporta un cierto resultado a cada jugador. Esta utilidad, pues, ha de ser *maximizada* por un agente racional.

Como observación general, conviene también notar que el DP *no* es un juego de *suma cero*, es decir, no se cumple que lo que gana un jugador sea *siempre* lo que está perdiendo el otro (esto se cumple sólo cuando los prisioneros escogen estrategias diferentes; si eligen la misma, ambos ganan o pierden lo mismo). Precisamente por esto la cooperación debería ser posible, al menos en principio. *En principio*, porque una discusión importante generada por este dilema y sus respectivos intentos de solución es si la cooperación es en absoluto viable, o si ambos prisioneros están indefectiblemente condenados por su propia racionalidad a pasar 5 años entre rejas.

Cuando el DP ya no es protagonizado por presos, confesiones y años de prisión, se denomina genéricamente *cooperación* la acción que *no* maximiza la utilidad propia, pero que empleada conjuntamente produce el resultado cooperativo, superior en términos de utilidad a la situación resultante de que ambos *defrauden*. Se entiende por *defraudar*, pues, la acción propiamente racional, que busca maximizar la utilidad propia.

Las iniciales T, R, S y P son las abreviaturas convencionales para referirse a los diferentes pagos que pueden resultar del juego, y su significado es el siguiente. T es la *tentación* de defraudar unilateralmente, lo que representa el resultado más deseable para cualquiera de los dos jugadores. S es el pago que obtiene el tonto (“sucker”) que comete la ingenuidad de cooperar, de lo cual se aprovecha el otro jugador, que ha defraudado. R es la recompensa por la cooperación mutua. Por último, P es la penalización que ambos obtienen por el fraude mutuo.

Los valores que adopten estas cuatro variables no tienen por qué ser los que aparecen en el ejemplo de la tabla 1, pero para que la estructura del DP se mantenga debe verificarse que:

$$T > R > P > S$$

¹⁰⁹ Técnicamente esto se conoce como “estrategia dominante”, es decir, un curso de acción que *siempre* es la mejor respuesta para cualquier decisión que tome el otro jugador.

El signo “>” significa aquí “preferible a”, pero si expresamos los pagos como intervalos en una escala de utilidad cardinal, significaría “mayor que”. Además, si el juego se repite ha de cumplirse que $(T + S) / 2 < R$, para evitar que a los jugadores les resulte más rentable explotarse por turnos que cooperar.

Con esta definición general de lo que es un juego, un primer esbozo del DP, y una serie de términos asociados habituales en la literatura especializada, podemos pasar ahora a considerar estos mismos conceptos a la luz del “marco ampliado” que habíamos introducido en el apartado anterior.

2.1.5 Pagos materiales y funciones de utilidad

En 2.1.3 habíamos destacado la diferencia entre el objeto material de una elección (estado de cosas) y la función de utilidad, como entidad matemática puramente formal, que ordena las preferencias sobre esos estados de cosas. Esta distinción tiene cabida en la teoría de juegos clásica, y no remite más que al concepto de *utilidad como medida de la preferencia*, tal como habíamos visto en la introducción. Pero podemos ahora dar un paso adicional hacia un nivel superior de abstracción y considerar una metafunción de utilidad, u' , que ordenase las preferencias de los jugadores en relación con la distribución de los pagos en la función de utilidad primitiva, u . Éste sería un modo de formalizar la intuición —sin duda corriente en la experiencia cotidiana— de que a la hora de tomar una decisión podemos tener en cuenta tanto los intereses propios como los ajenos, sin dejar por ello de maximizar nuestra función de utilidad, tal como exige la teoría de la decisión.

Danielson, por ejemplo, incorpora esta distinción en un modelo informático, expresada en términos de “pagos materiales” (y “pagos formales”, aunque no aparezca expresado así en este pasaje):

Levine’s model can be viewed as a particular parametrization of a class of models in which *preferences depend on payoffs to and individual player and to his rivals*, as well as depending on his own type and the type of his rivals. Following Sethi and Somanathan, where π is the *material payoff* function of a n -player game in x , player i ’s utility function u_i has the direct component and β *weight* for the opponents’ *material payoff*.¹¹⁰

Supongamos que ese peso que el agente asigna a los pagos materiales del otro jugador se representa por un número comprendido entre 0 y 1, donde 0 indicaría que los pagos ajenos no tienen ningún peso en la situación, y 1 significaría que todo el peso está depositado en los pagos ajenos, olvidándose completamente de los propios.

¹¹⁰ Danielson, 2002, p. 7238. He destacado en cursiva los términos e ideas que quiero explicar aquí.

Consideremos una vez más el DP, con la siguiente estructura de pagos. Estos pagos no son ya años de prisión, ni ningún estado de cosas concreto, sino intervalos en una escala (función de utilidad primitiva, u) que cada jugador aspira a maximizar si se los supone completamente egoístas.

Tabla 2

<i>Dilema del Prisionero (2)</i>		Jugador 2 (j)	
		Cooperar	Defraudar
Jugador 1 (i)	Cooperar	3 ; 3	1 ; 4
	Defraudar	4 ; 1	2 ; 2

La metafunción de utilidad u' , resultante de considerar con diferentes pesos los pagos materiales, tanto de uno mismo como del otro, se calcularía como:

$$\text{Pago} = p_i (1 - \beta) + p_j \cdot \beta$$

Donde p_i es el pago material del jugador 1, y p_j es el pago material del jugador 2. Si el jugador 1 es completamente egoísta ($\beta = 0$), la matriz de pagos quedaría tal como está representada arriba, y los pagos materiales coincidirían totalmente con los de la función de utilidad resultante. Por ejemplo, para el pago correspondiente al resultado “Jugador 1 defrauda – Jugador 2 coopera”, tendríamos que:

$$4 \cdot (1 - 0) + 1 \cdot 0 = 4$$

Supongamos que ahora el jugador 1 concede la misma importancia o peso tanto a sus pagos materiales como a los del jugador 2. Esto se expresaría como $\beta = 0.5$, que equivaldría de algún modo a una postura utilitarista. Si calculamos nuevamente el pago correspondiente al resultado “Defraudar – Cooperar”, esta vez resulta que:

$$4 \cdot (1 - 0,5) + 1 \cdot 0,5 = 2,5$$

Y si convertimos el resto de los resultados de la tabla 2, nos resulta esta otra matriz, donde escribo en **negrita** los pagos para el jugador 1 resultantes de haber *transformado* los pagos materiales de ambos jugadores de acuerdo con $\beta = 0.5$

Tabla 3

"Dilema del Prisionero" (3)		Jugador 2 (j)	
		Cooperar	Defraudar
Jugador 1 (i)	Cooperar	3 ; 3	2.5 ; 4
	Defraudar	2.5 ; 1	2 ; 2

De este modo, vemos que la estructura formal del juego ha dejado de ser un DP, y la estrategia "Defraudar" ya no es dominante para el jugador 1. Además, en el modelo estudiado por Danielson y Levine, cada jugador conoce el modo en que el otro agente transforma los pagos materiales, con lo cual podrían resultar otras estructuras en las que cambiarían también los pagos que aquí no he marcado en negrita.¹¹¹

Podría dar la impresión de que este procedimiento de asignar "pesos relativos" a los pagos materiales conduce a una recursividad infinita. Esta impresión se desvanece si notamos que los pesos β_i y β_j los aplica cada jugador sobre sus respectivas funciones u_i y u_j , pero no sobre los pagos de orden superior contenidos en u_i' y u_j' . Cada jugador conoce todos los parámetros, los suyos y los del otro jugador (u_i , u_j , β_i y β_j), pero las metafunciones de utilidad resultantes (u_i' y u_j') aunque conocidas también por ambos —y *tienen que* ser conocidas, para que pueda haber un juego en absoluto— ya no son sometidas a ninguna otra transformación. Si volvemos a la tabla 3, podríamos imaginar como ejemplo que los dos jugadores son "utilitaristas" ($\beta = 0.5$)¹¹². Ambos lo saben, y de ello se deriva un nuevo juego donde los pagos son exactamente los mismos para los dos jugadores en cada uno de los resultados (es decir, los números que en la tabla 3 aparecen en negrita sustituirían también a los que no están en negrita). Puestas las cosas así, los dos jugadores elegirían lo que en el juego original/primitivo era la acción cooperativa, pues con ella están maximizando ambos sus metafunciones de utilidad (u_i' y u_j').

Aunque la estructura del juego queda en último término determinada por estas nuevas funciones de utilidad, los pagos que los agentes realmente reciben son los llamados *pagos materiales*. Por ejemplo, si el jugador 1 se encuentra en la situación definida en la tabla 3, está valorando el resultado DC como 2.5¹¹³; pero si éste fuese el resultado que finalmente se obtuviese, obtendría en la simulación los 4 puntos que conformaban el juego original (tabla 2).

El modo en que los agentes artificiales de *Bichos* pueden ser más o menos altruistas es algo diferente, aunque podría considerarse análogo a este procedimiento descrito por Danielson¹¹⁴.

Conviene ahora resumir en tres puntos lo dicho hasta aquí:

¹¹¹ Cfr. Danielson, 2002. La exposición que en este artículo hace Danielson de los modelos de Levine, Sethi y Somanathan es más formal, pero aquí he querido presentarla de una manera más sencilla.

¹¹² Son utilitaristas no porque sean igualitarios, sino que el valor $\beta = 0,5$ indica que se interesan por la "felicidad" de todos, y en la misma medida. De hecho, elecciones derivadas de principios utilitaristas bien pueden conducir a resultados poco igualitarios.

¹¹³ A consecuencia de que para él $\beta = 0,5$.

¹¹⁴ Los detalles de mi modelo a este respecto se encuentran en el Apéndice A.

- 1) Aunque antes he mencionado que el componente material de nuestras preferencias son, en la práctica, entidades concretas, o estados de cosas formados por ellas, en este ejemplo que acabo de dar, los llamados *pagos materiales* son igualmente una estructura puramente abstracta, ya que son parte del modelo. En cualquier caso, quedan englobados en otra matriz de pagos de orden superior, la cual correspondería a las funciones de utilidad, también formales, que en último término definen el tipo de juego o situación en que se encuentra un agente.
- 2) Evidentemente esta aproximación a las funciones de utilidad queda fuera de la teoría de juegos clásica. En ésta —nunca sobra insistir sobre este punto— un cierto juego viene dado por la estructura de sus pagos, y nada más que por ellos. Cualquier otra consideración (el “maquillaje psicológico” al que alude Harsanyi¹¹⁵) modifica la naturaleza del juego, y no lo resuelve, sino que simplemente lo anula o disuelve¹¹⁶. En cualquier caso, modelos como éste que propone Danielson cuentan con la ventaja de especificar formalmente y con total precisión el tipo de transformaciones que cabe efectuar en un juego. Después de todo, lo único que puede alterar la naturaleza del juego es el grado de altruismo de los agentes, y el material sobre el que recaen estos diversos grados de altruismo sigue estando en la estructura de pagos del juego, y nada más que en ellos.¹¹⁷
- 3) También es fácil observar que la elaboración de una nueva estructura de pagos mediante la asignación de un peso o importancia relativos a cada pago material (el del propio jugador que realiza el cálculo, y el del otro) implica la intersubjetividad y comparabilidad de dichos pagos materiales¹¹⁸. Ya hemos comentado (1.2.4) que la intersubjetividad, el conocimiento mutuo de los pagos, es condición de posibilidad de la teoría de juegos. Más cuestionable es el supuesto de que puedan comprarse los pagos de diferentes jugadores, como si pudiesen reducirse a una misma escala. En efecto, veíamos en el capítulo anterior que las comparaciones interpersonales de utilidad fueron progresivamente descartadas por la economía, precisamente para eliminar las dificultades presentes en la noción de utilidad tal como la planteaban Bentham y Mill,

¹¹⁵ Cfr. Harsanyi, 1986, p. 95

¹¹⁶ La disolución del DP por un cambio en la estructura de los pagos sería lo que Parfit llama “introducción de preferencias morales”. Sin embargo, Parfit sugiere que también podrían producirse dilemas del prisionero incluso si los objetivos de cada agente estuviesen orientados *a los demás*: “Supongamos que cada uno puede, o bien cumplir algunos de sus propios deberes, o bien facilitar a otros un mayor cumplimiento de los suyos. Si todos, en vez de ninguno, dan prioridad a sus propios deberes, cada uno estará en condiciones de cumplir menos de ellos”. Parfit, 1991, p. 37.

¹¹⁷ El análisis de esta idea lo desarrollaré en el capítulo 4.5, siguiendo la discusión iniciada por Skyrms en relación con el juego del Ultimátum.

¹¹⁸ El planteamiento de Braithwaite en *Theory of Games as a Tool for the Moral Philosopher* supone esta posibilidad de poder comparar las utilidades de diferentes individuos.

la cual contenía una carga psicológica difícilmente manejable en términos cuantitativos. Aunque la teoría de juegos puede requerir que las funciones de utilidad sean *cardinales* para aquellos casos en que las decisiones recaen sobre loterías, esta cardinalidad de una función de utilidad no supone que la medida de sus intervalos sea comparable con la función cardinal *de otro jugador*. Pero en la teoría de juegos evolutiva las comparaciones interpersonales de utilidad se convierten en una condición de posibilidad, ya que expresan el rendimiento adaptativo de los individuos. Y este rendimiento es algo *objetivo*, pues da cuenta de acontecimientos (tasa de reproducción) que ocurren en el “mundo”, independientemente de las particulares o *inexistentes* preferencias psicológicas de los agentes. El modelo de Danielson que acabamos de analizar hace un uso muy fuerte del supuesto de la intersubjetividad, pues cada jugador es capaz de integrar ambos pagos materiales (propios y ajenos) en una misma escala. Si damos por buena la comparabilidad de utilidades en un contexto evolutivo, de todos modos cabe preguntarse por la legitimidad de la *intersubjetividad* cuando lo que se modela es un proceso de evolución biológica, protagonizado por entidades que bien pueden carecer de consciencia. En el epígrafe 2.2.2, que dedicaré al estudio de las semejanzas y diferencias entre racionalidad y evolución, propondré una alternativa para modelar este posible interés altruista por las preferencias ajenas, pero sin suponer una medida intersubjetiva de diferentes funciones de utilidad.

La propuesta para ampliar este marco teórico consiste, pues, en considerar la preferencia personal, en el sentido más general arriba mencionado, como comprendiendo no sólo la preferencia propia por ciertos objetos o estados del mundo, sino incluyendo además las preferencias ajenas por dichos estados de cosas. Tal como reitera Williams la convicción de la mayoría de los filósofos morales, el requisito mínimo para estar en el mundo moral es la voluntad de tomar en consideración los deseos de los otros tanto como los propios¹¹⁹.

La teoría heredada afirma que no por incluir las preferencias ajenas en nuestra propia función de utilidad estamos por ello abriendo la posibilidad de obrar en contra de nuestros intereses. Esto lo subraya Harsanyi, por ejemplo, en su definición de lo que es la teoría de juegos, al tiempo que no evita hablar de intereses “egoístas” o “altruistas”, términos a los cuales será preciso darles un sentido por referencia a *los otros* agentes: en el caso de esta definición en concreto, no podemos referirlos a *intereses* propios o ajenos sin caer en una evidente

¹¹⁹ Cfr. Williams, 1987, p. 97.

circularidad; pero sin entrar en enredos terminológicos, lo cierto es que *egoísmo* o *altruismo* tienen que poder entenderse en términos de la distinción entre los objetivos perseguidos por uno mismo, de un lado, y por los demás, del otro (no importa lo mal que evaluemos cuáles son esos objetivos perseguidos por los demás).

Game theory [...] is the theory of rational behavior by *two or more* interacting rational individuals, each of them determined to maximize his own interests, whether selfish or unselfish, as specified by his own utility function [...] (Though some or all players may very well assign high utilities to clearly altruistic objectives, this need not prevent a conflict of interests between them since they may possible assign high utilities to quite *different*, and perhaps strongly conflicting, altruistic objectives)¹²⁰.

En resumen, podemos aceptar estas definiciones, pero destacando que incluso la teoría heredada concedería que somos capaces de: a) reconocer preferencias ajenas (que pueden no coincidir con las nuestras), y b) integrarlas en nuestra función de utilidad, sin por ello pasar por alto la diferencia entre intereses *propios* y *ajenos*.

Gauthier sostiene la necesidad de poder conocer la preferencia por otro medio que no sea la elección misma¹²¹. Cómo sea posible conocer los intereses ajenos, puesto que sólo tenemos acceso a nuestros propios estados de conciencia, siempre privados, sería una tarea más propia de la psicología, que aquí podemos dar por resuelta aceptando que los seres humanos somos capaces de comunicarnos. Pero además, veremos que desde un planteamiento evolutivo ni siquiera es necesario considerar a los agentes como seres que poseen preferencias como estados mentales.

En definitiva, a fin de que aquel concepto tan estrecho de racionalidad económica no obstaculice nuestro planteamiento —y aunque volveremos sobre él más de una vez— quiero dejar claros los siguientes puntos, que en adelante daré por supuestos al referirme a *este tipo* de simulaciones (Danielson y Levine)¹²².

- Los agentes que intervienen en un juego conocen todas las funciones de utilidad (intereses), tanto la propia, u_i , como la ajena, u_j . También un observador que considere el juego sin participar en él ha de tener acceso a estas preferencias con anterioridad a la acción, aunque luego no coincidan con la preferencia revelada en la acción. Este observador puede ser, bien el experimentador, bien otros agentes artificiales que

¹²⁰ Harsanyi, 1986, p. 89. Conviene destacar en cualquier caso que Harsanyi entiende la moralidad desde el punto de vista de la imparcialidad (criterios impersonales), y no desde el altruismo (esto puede leerse en el mismo artículo de Harsanyi, inmediatamente a continuación de la cita que he transcrito).

¹²¹ Cfr. Gauthier, 2000, pp. 47 – 50

¹²² El porqué de estos supuestos resume el objetivo de este epígrafe: dar contenido al concepto de racionalidad, permitiendo con ello hablar significativamente tanto de acción racional como de acción *irracional*, y dar también cabida al concepto de moralidad.

intervienen en la simulación. En este último caso se trata de una condición necesaria para que los jugadores puedan hacerse una idea empírica de cuáles son las disposiciones de sus semejantes (lo cual, dicho sea de paso, hacemos permanentemente los sujetos reales).

- Como alternativa a la teoría heredada, tiene que ser posible: a) o bien maximizar en cierta medida la función de utilidad *del otro* (u_j), o bien b) incluirla junto con la propia (u_i) en una función de utilidad propia *de orden superior*, que podemos denotar como u_i' y que será la que propiamente defina la estructura del juego, aunque los pagos *materiales* realmente obtenidos sean los de las funciones de utilidad originales (u_i y u_j). Si nos atenemos a la conducta meramente observada, sin saber cómo operan los autómatas, no es posible distinguir cuál de las dos alternativas es la que explicaría el comportamiento no maximizador. En mi programa (*Bichos*) opto por la primera. La segunda es la que adopta Danielson en el modelo que analizamos ahora. En cualquiera de los dos casos, lo cierto es que esta conceptualización puede presentar un aspecto demasiado heterodoxo para la teoría de juegos convencional. Pero la presunta ruptura se desvanece tan pronto como recordamos que aquellos pagos materiales son en un contexto evolutivo la medida del éxito reproductivo, es decir, algo completamente observable y medible. Éstos, por su parte, constituyen la totalidad de estados de cosas sobre los que recaen las preferencias y decisiones de los agentes.
- La racionalidad práctica sigue consistiendo, pues, en maximizar la utilidad. De todos modos, si la teoría heredada nos fuerza a que siempre haya que maximizar la función de utilidad *propia*, la propuesta de Danielson y Levine (b) todavía permite que ésta incorpore las funciones de utilidad de otros individuos. Claro está, este recurso supone pagar el precio de tener que modificar el juego que originalmente estuviésemos considerando. Esta perspectiva de lo que llamaré el marco *estrecho* de la racionalidad práctica queda recogida en el siguiente comentario de Pedro Francés:

Creemos que Julia Barragán representa y sintetiza muy bien el enfoque bayesiano ortodoxo cuando, refiriéndose a la defensa gautheriana de la maximización restringida, dice que “a la hora de plantearse la estabilidad de la solución, necesita apelar a una modificación de la matriz de pagos”. Porque, desde el punto de vista de la teoría de la utilidad, la matriz de pagos asociada a la estructura del Dilema del Prisionero implica *siempre* que la solución cooperativa es inestable. Estos autores llevan hasta sus últimas consecuencias el compromiso normativo con la

maximización de la utilidad esperada, de forma que constantemente interpretan los argumentos en términos de estrategias y utilidades. Como mucho, introducen conceptos que podrían considerarse afines a las disposiciones, como las meta-estrategias, o los planes. Su enfoque es opaco al argumento de Gauthier.¹²³

Ahora bien, cuando Danielson —inspirado en Gauthier— propone ampliar el marco conceptual, está bien al tanto de la objeción expresada en la cita anterior. De hecho es su respuesta a esa objeción. Ha de ser posible conservar el juego como tal (en este caso el DP) y sin embargo hallar algún sentido en el que *cooperar* pueda ser una estrategia racional. La solución propuesta por Gauthier la pospondremos por el momento; volveremos sobre ella reiteradamente lo largo de este capítulo y el próximo, y la revisaremos con más detalle en el capítulo 5. Continuando con Danielson, el artificio de considerar “pagos materiales” implica —siempre desde el marco estrecho— la disolución del DP al convertirlo simplemente en otro juego. Esto tiene un aspecto algo desalentador en el sentido de que sigue sin ser una respuesta moral al dilema. ¿Pero qué sentido tiene exigir racionalidad a una respuesta moral, si en el marco estrecho sería por definición *irracional* cooperar en un DP? El interés que ofrece un modelo con agentes artificiales reside en que, cuando sus preferencias se ven modificadas de manera que transforman la matriz de pagos del DP en otro juego, existe la garantía de que esta transformación sólo es posible por referencia a los intereses ajenos, *y nada más que a ellos*. Al no haber en juego ningún elemento psicológico, no cabe interpretar que esta disolución del DP se debe a que un agente “se siente bien” al contemplar la felicidad del otro.

- Una última matización, que será de gran importancia. El modelo informático que vengo analizando en este epígrafe, en el que Danielson emplea el concepto de “pagos materiales” es mucho más reciente que su trabajo más conocido, *Artificial Morality*. En éste, el sentido en el que propone la posibilidad de decidir en contra de las preferencias es más fuerte, y sigue la línea más arriesgada iniciada por Gauthier. La auténtica apuesta de Gauthier y Danielson consiste en ampliar (no en cancelar) el concepto de racionalidad de manera tal que sea posible actuar racionalmente sin maximizar siempre la utilidad *y sin alterar la estructura de la situación*. La moralidad se identifica con la capacidad de restringir esa maximización, en favor de los intereses ajenos, *pero sin renunciar a los propios*. Por ello puntualiza Gauthier que se trata de una restricción *imparcial*. Veremos que un requisito para que esta restricción sea racional es que los

¹²³ Pedro Francés, 1996, pp. 411 – 412

agentes sean transparentes (al menos parcialmente); lo cual, a su vez, hará que la elección racional recaiga sobre disposiciones más que sobre acciones. Pero incluso así, la noción de racionalidad ampliada sigue teniendo una referencia a la maximización de la utilidad propia, y no a cualquier otra cosa.

Si nos volvemos a situar una vez más en el marco estrecho, y según estas dos definiciones de racionalidad y moralidad, se sigue inmediatamente que comportarse moralmente es, en principio, irracional. Por lo menos hemos conseguido un avance en relación con la teoría más ortodoxa (económica), a saber, que la acción irracional sea al menos *posible*. Este progreso se aprecia incluso mejor en un contexto con agentes artificiales, porque pueden estar programados de tal modo que al examinar sus algoritmos sabemos con seguridad que *no* están maximizando su función de utilidad. De este modo nos desligamos de la atadura impuesta por el concepto de preferencia revelada en la acción.

Por lo dicho hasta aquí parece que toda la carga de la prueba debiese caer siempre sobre la propuesta de adoptar un concepto más amplio de racionalidad práctica, como si el concepto estrecho fuese por sí solo acabadamente coherente. Sin embargo, la racionalidad como maximización de la utilidad es en algunos casos una noción autocontradictoria o autoanulante (*self-defeating*)¹²⁴. Hemos hecho una primera aproximación al dilema del prisionero precisamente porque es sin duda la situación más célebre en la que queda de manifiesto este carácter autocontradictorio, que Parfit expresa en los siguientes términos:

Hemos estado considerando diferentes teorías sobre la racionalidad. Podemos describir tales teorías indicando qué nos dicen que intentemos alcanzar. De acuerdo con todas estas teorías deberíamos intentar actuar racionalmente. Llamemos a esto nuestro objetivo *formal*. Podemos ignorar esto aquí. Por “objetivos” podemos significar objetivos *sustantivos*. [...]

[...] Llamemos a [una teoría] T, y a los objetivos que nos presenta *nuestros objetivos T-dados*. Digamos que *seguimos con éxito T*, cuando cada uno realiza con éxito, de entre los actos disponibles, el que mejor logra sus objetivos T-dados. Llamemos a T *indirectamente autoanulante* cuando el mejor modo de lograr nuestros objetivos T-dados sea únicamente no intentar lograrlos, y *directamente autoanulante* cuando el mejor modo de lograr nuestros objetivos T-dados sea únicamente no tener éxito en seguir T¹²⁵.

¹²⁴ No es exactamente ni una contradicción (lógica) ni un efecto perverso meramente empírico. Se trata de una plena contradicción pragmática, según veremos inmediatamente a continuación.

¹²⁵ Parfit, 1991, p. 30. Considero que podemos prescindir de la diferencia adicional que establece Parfit entre teorías *individual* y *colectivamente* autoanulantes (Cfr. Parfit, 1991, p. 32). Ciertamente se puede defender el imperativo maximizador como principio de acción, arguyendo que *individualmente*, cada uno logra mejor sus objetivos T-dados siguiendo con éxito T. Pero el problema de T sigue siendo que dirige sus prescripciones a *todos y cada uno* por igual.

Se puede decir que el conflicto es doble. Por un lado, entre racionalidad y moralidad. Por otro, incluso más agudo, de la racionalidad maximizadora consigo misma. El aspecto más llamativo es que al presentarse dilemas de este tipo se obtienen resultados más acordes con el propio imperativo maximizador aplicando *ambos* prisioneros una conducta *moral* (irracional, según la definición estrecha de racionalidad práctica) que decidiendo racionalmente. Si se pudiese resolver el primer conflicto —justificando racionalmente la moralidad— podría también solucionarse el segundo, mostrando que la moralidad puede ser parte de un concepto de racionalidad menos estrecho, capaz de superar las contradicciones que en ocasiones anulan la racionalidad práctica como maximización estricta.

Sabemos que uno de los intentos recientes más importantes en la búsqueda de una solución para este conflicto es la obra de David Gauthier, cuya propuesta es conciliar racionalidad y moralidad sin abandonar los conceptos de las mismas que hemos adoptado, tal como él mismo los expresa en el párrafo citado en 2.1.2. Según habíamos avanzado en la introducción, Gauthier se valdrá para ello de dos supuestos que son lo característico de su enfoque: los sujetos transparentes, o en menor medida translúcidos, y la idea de que la elección racional maximizadora es elección de disposiciones a obrar, más que elección de las propias acciones¹²⁶. Como cuestión teórica Gauthier mostrará que, en determinadas condiciones, en efecto la cooperación *es* racional, ya que logra el objetivo de la racionalidad económica: la maximización. Esto puede entenderse como un argumento que *explica* cómo puede en teoría surgir la moralidad, entendida ésta como disposición a obrar de acuerdo con principios o reglas imparciales que implican acciones *contrarias* a las propias preferencias, y no como una mera “preferencia altruista”, a partir del ejercicio de la racionalidad maximizadora, esto es, a partir de un contexto previo carente de cualquier moralidad.

Estas dos importantes aportaciones teóricas de Gauthier pueden encontrar un lugar de contrastación empírica en modelos informáticos. Mediante éstos se pueden explorar —y Danielson lo hace especialmente bien— algunas consecuencias que pueden tener los conceptos de “transparencia” o “disposición” cuando los agentes que los encarnan pasan de la teoría a la realidad.

¹²⁶ Gauthier, 2000, pp. 244 – 245.

2.1.6. Agentes

En el apartado anterior hemos especificado lo que entenderemos por razón práctica, y al hacerlo no hemos podido evitar las referencias reiteradas a los *agentes* que disponen de ella. Veíamos que el concepto más básico de racionalidad (*racional₁*) era inseparable de la propia definición de acción humana, por cuanto respondía a la necesidad de suponer tras ésta *alguna* razón que la haga en absoluto inteligible como tal acción. Esto nos conduce al otro rasgo característico de la agencia, relativo a que esa razón suficiente no puede interpretarse sin más como un mero eslabón en la cadena de causas y efectos que se suceden en la naturaleza. Para ampliar esta idea me valdré una vez más de la exposición de Gilberto Gutiérrez:

El nudo del dilema radica precisamente en esa excepcional singularidad de la agencia humana. El hombre, y más específicamente, la acción humana, es la única entidad natural que puede contemplarse desde esas dos perspectivas contrapuestas y tal vez irreductibles. Una de ellas, *externa*, corresponde al punto de vista del *espectador* que considera las acciones ajenas o incluso propias como algo dado, *ya hecho*. La otra es la ineludible perspectiva *interna* en la que se sitúa el agente que considera sus propias acciones no como algo dado sino aún *por hacer*. [...] La acción humana —que, sin dejar de ser un acontecimiento físico, es también producto de una deliberación y una decisión inteligentes— evoca la glándula pineal cartesiana, punto de tangencia de dos ámbitos de realidad y, en consecuencia, de dos universos de discurso.¹²⁷

Este es el sentido más convencional de agente, que implica ante todo (requiere suponer) la presencia de una *intención*, una razón que, como motivo, sería la causa de lo que externamente podría ser por sí mismo no más que mero acontecimiento físico¹²⁸. El agente es el sujeto de acción, entendida ésta como opuesta al mero suceso del mundo por su carácter propositivo. En este sentido, los únicos agentes conocidos somos los seres humanos¹²⁹ (habrá otras entidades colectivas que, en función de las acciones de los agentes que las componen, se puede considerar que también actúan según razones: un país, una empresa, etc.). Sin embargo, el componente evolutivo que la teoría de juegos adquiere en este trabajo nos obliga a usar un concepto de agente más amplio, que pueda incluir otro tipo de seres a los que no cabe atribuir reflexión, ni capacidad

¹²⁷ Gilberto Gutiérrez, 2000, pp. 14 – 15.

¹²⁸ En relación con esta distinción natural que hacemos entre acontecimientos y acciones, Levinson explica desde un punto de vista evolutivo un tema central en la antropología filosófica alemana y en la tradición hermenéutica, esto es, la comprensión como interpretación. Según Levinson, esta nuestra tendencia natural a interpretarlo todo, como si hubiese siempre intenciones detrás de cualquier fenómeno, tiene un fundamento darwinista. Sin interpretación es imposible la comunicación, y la comunicación fue —y sigue siendo— fundamental para la supervivencia de nuestra especie. Por su extremada importancia adaptativa, esta capacidad hermenéutica habría sufrido cierta hipertrofia (lo compara con los perros, que van oliéndolo *todo*, porque el olfato ha tenido una especial importancia para su supervivencia). *Cfr.* Levinson, 1995.

¹²⁹ Algunos estudios apuntan a que otros primates superiores, así como los delfines, son también capaces de proponerse fines y tener consciencia de sus acciones. En cualquier caso se trata de experimentos; en lo que no podemos equivocarnos es en afirmar que nosotros sí somos agentes.

de interpretar intenciones ajenas, ni una razón práctica, en definitiva, que busque un buen motivo para actuar. Entre estos agentes, pues, incluiré otros organismos además del ser humano (hasta en formas tan primitivas como bacterias¹³⁰) o algoritmos informáticos, que nos permitirán representar, como un modelo, los comportamientos de esta gran variedad de agentes.

Una de las claves estará en estudiar la evolución de seres cuyas conductas no responden a ningún tipo de consciencia de sí y la ruptura que se produce con la aparición de la racionalidad individual. Para los primeros, como recurso heurístico, se podría postular la existencia de una racionalidad colectiva, aunque esta idea cae fuera nuestra investigación. Por otra parte, lo cierto es que con el surgimiento de la consciencia individual aparece simultáneamente la intuición de un *otro*, y con ello una razón práctica en busca de una “razón suficiente” para causar la acción: algún tipo de motivo que le determine entre la disposición de maximizar exclusivamente su utilidad, por un lado, y la de contar también con la que adscribe a los demás, por otro¹³¹. Esta falta de determinación habla de contingencia¹³².

Dado que la conducta de individuos sin consciencia de sí es tan necesaria como la caída de una piedra, consideraremos aquí la contingencia de sus “acciones” desde el punto de vista de la especie. Todas las bacterias de una cierta especie “hacen” siempre lo mismo, y no hay indicios para pensar que una capacidad de reflexión les plantee la necesidad de actuar *bien*. Sin embargo, la conducta rígidamente determinada por sus genes también *podría haber sido otra*, si el curso de la evolución hubiese sido diferente.

Este enfoque permite trazar una analogía entre lo que serían procesos de deliberación (agencia), por un lado, y de selección natural, por otro. Más concretamente, en los modelos informáticos quedará patente que la dinámica que tiene lugar en un modelo puede igualmente interpretarse como una elección racional de estrategias óptimas o como una selección natural de individuos que adoptan diferentes disposiciones. En el primer caso, si la simulación es relativamente sencilla (con agentes y entornos muy idealizados) la elección de una estrategia óptima puede realizarse mediante el procedimiento habitual de maximizar la utilidad esperada. Cuanto más complejos se vuelven los modelos, tanto más difícil es integrar el número creciente de variables en un único cálculo, con lo cual el proceso de selección se aleja del ideal axiomático que prescribe la economía para la toma de decisiones, y tiende a una dinámica donde la selección de estrategias tiene lugar mediante mecanismos menos depurados, pero que permiten tomar

¹³⁰ Sobre microorganismos que “juegan” al dilema del prisionero véase por ejemplo el artículo de M. Nowak y K. Sigmund, “En los orígenes de la cooperación”.

¹³¹ O algún otro tipo de motivo, ajeno a cualquier interés.

¹³² Por una cuestión de método quiero desde ya evitar la polémica entre determinismo y libertad, en cualquiera de sus variantes. Creo que podemos aceptar nuestras intuiciones comunes acerca de que si, por ejemplo, he decidido cruzar la calle con el semáforo en rojo, también *podría* haber decidido esperar a que estuviese en verde.

decisiones allí donde un cálculo exacto se vuelve imposible. De algún modo se trata, pues, de una diferencia de grado entre dos procesos, evolución y elección racional, cuyas semejanzas y diferencias abordaremos en el epígrafe 2.2.2 a la luz de lo que se conoce como “heurística de la personificación”.

2.2 Método

2.2.1 El método de las simulaciones informáticas

Seguramente el uso de simulaciones informáticas no sea muy habitual en la investigación filosófica. Quizá menos aún en el campo de la filosofía moral, pues tampoco son infrecuentes en otros campos vinculados a la lógica o la inteligencia artificial. Ya fuera del ámbito de la filosofía, lo cierto es que en ciencias naturales los modelos informáticos han sido incorporados a la investigación casi desde el mismo inicio del computador digital, proliferando las aplicaciones y simulaciones paralelamente al incremento en la potencia de los equipos utilizados¹³³. En las ciencias humanas, su uso es mucho más reciente, y por poder resultar todavía inusual conviene intentar ahora una justificación de su empleo como parte del método seguido en esta investigación.

En principio, una simulación no es más que un modelo o copia a escala de cierta realidad. Podemos pensar, sin ir más lejos, en las esferas armilares, que con sus armazones metálicos representaban los sistemas de esferas concéntricas de los cuerpos celestes, tan empleadas por los antiguos astrónomos para facilitar sus investigaciones. Otro tipo de modelos son mucho menos intuitivos, y requieren el conocimiento de ciertas teorías —a menudo bastante complejas— para comprender de qué son un modelo (por ejemplo, para entender que las líneas de color observadas en un espectrómetro *representan* un determinado elemento químico hay que tener presente la validez de unas cuantas teorías químicas, ópticas, etc.) Como imágenes del mundo que son, los modelos no pueden ni deben ser la propia realidad que figuran, y por ello necesitan hacer abstracción de muchos elementos que componen la propia realidad, quedándose con una serie de rasgos para cuyo estudio el modelo ha sido ideado.

Desde Descartes, la filosofía moderna nos ha acostumbrado, sin ir más lejos, a que nuestras propias ideas son imágenes, copias o representaciones del mundo. En sus modos más concretos, estas copias contienen una enorme variedad de componentes empíricos, que la asemejan —presumiblemente— a la realidad misma. Las ideas abstractas, por el contrario, resultan de una eliminación de estos detalles sensibles. No es el propósito de este comentario analizar

¹³³ Un ejemplo notable lo tenemos en las simulaciones empleadas en predicciones meteorológicas o para el estudio del cambio climático. Las variables que intervienen en estos fenómenos son tan diversos y complejos que un modelo dinámico de los mismos sólo es posible aprovechando la elevada potencia de cálculo que puede ofrecer un ordenador (a menudo varios ordenadores trabajando simultáneamente).

detenidamente la historia de las ideas o representaciones entendidas como copias, que podría seguirse desde las dudas cartesianas, pasando por el escepticismo de Hume, el giro copernicano de Kant (con el sujeto que construye el objeto, para garantizar esa fidelidad entre original y la copia, al menos en sus leyes más generales) y acabando quizá en la teoría de la figuración de Wittgenstein, por enumerar algunas posibilidades. Lo importante aquí es indicar someramente los antecedentes de esta noción de modelo. A diferencia de los modelos mentales que espontáneamente nos hacemos del mundo, en el modelo empleado por la ciencia, en este caso la simulación, los rasgos de los cuales ha de hacerse abstracción son escogidos por el investigador.

A fin de precisar un poco más lo que entendemos por modelo y su función en la ciencia, tomaremos algunas consideraciones que hace al respecto T. Schelling en *Micromotives and Macrobehaviors*¹³⁴. Al abordar el estudio de los modelos en ciencias sociales, Schelling parte como ejemplo del mecanismo del termostato como modelo de sistemas donde se producen efectos de retroalimentación (*feedback*). Se trata sólo de un caso, especialmente seleccionado por su simplicidad, pero que le permite trazar a continuación un concepto más general:

By “model” I mean either of two things. A model can be a precise and economical statement of a set of relationships that are sufficient to produce the phenomenon in question [aquellos de los cuales queremos hacer uno modelo]. Or a model can be an actual biological, mechanical or social system that embodies the relationships in an especially transparent way, producing the phenomenon as an obvious consequence of those relationships. These two meanings of “model” are not very different; what makes the heating system a useful model is that we can describe it so precisely and so tersely that we can convert it almost directly to mathematical form.¹³⁵

Antes de proceder a clarificar qué criterios se pueden emplear a la hora de decidir cuáles son los rasgos relevantes en un modelo, conviene notar que el núcleo no empírico del método característico de la ciencia moderna (la experimentación) está constituido por otro tipo de modelos, totalmente abstractos. Éstos son las propias teorías, que en su esencia podrían entenderse como conjuntos de leyes generales, de las que se derivan deductivamente ciertas proposiciones particulares que posteriormente habrán de ser contrastadas experimentalmente. Las leyes generales cuya validez una teoría afirma podrán o no formularse con expresiones matemáticas; lo cierto es que esta descripción matemática de las leyes se verifica especialmente bien en la física, pero no se deja aplicar tan fácilmente a la biología, y menos aun a las ciencias sociales. En este último grupo de disciplinas las formulaciones matemáticas son normalmente un

¹³⁴ Dicho sea de paso, en esta obra Schelling presenta lo que sería una primera aplicación del autómata celular al análisis del comportamiento humano. Como curiosidad cabe señalar que el soporte material del que se vale Schelling no es el hardware de un ordenador, sino monedas dispuestas sobre una mesa. La validez formal del modelo es en cualquier caso la misma, debido a la estructura lógica de las reglas (software) que de idéntica manera rigen el cambio de colores en una pantalla, o bien la posición de las monedas. *Cfr.* Schelling, 1978, pp. 147 – 155

¹³⁵ Schelling, 1978, p. 87

accesorio estadístico; la importancia que deba asignarse a ese carácter accesorio vendrá marcada por el grado de compromiso que tenga el investigador con el ideal positivista del monismo metodológico, según el cual el método de las ciencias humanas debería buscar su modelo en las ciencias naturales, especialmente en la física matemática. De algún modo, la cuestión de si las leyes de una teoría se pueden expresar matemáticamente depende del grado de complejidad y regularidad observado en los fenómenos, y que la ley pretende abarcar. Al respecto Schelling prosigue con su ejemplo del termostato, para mostrar en qué condiciones podría llevarse a cabo una reducción de este tipo:

We can enlarge the “model” by admitting the outdoor temperature [... y otras variables] [...] And if we do all this with noncommittal algebraic abbreviations, like x , y and z rather than “water temp”, “air temp”, and “furnace on” or “furnace off”, we have an abstract mathematical system. That is, we have a mathematical statement of exactly those characteristics, that we want in our model —the characteristics that account for the cyclical behavior we want to study.

Furthermore, we have a mathematical description that is now independent of the heating system.

[...] If a model meets the criterion of simplicity it will often, like the thermostat-controlled heating system, describe physical and mechanical systems as well as social phenomena, animal behavior as well as human, scientific principles as well as household activities.¹³⁶

La complejidad de los modelos informáticos que estudiamos aquí es muy variada. Tenemos el caso del modelo de éxito adaptativo ideado por Maynard Smith (replicator dynamics) que se expresa con total precisión en una sola ecuación. A partir de ahí, es incorporado en las simulaciones más sofisticadas de Skyrms. Otros modelos informáticos, como el que propongo yo, incorporan un número de variables que ya no “meets the criterion of simplicity”, según lo expresa Schelling.

Pero esto sólo significa que el modelo representa la realidad de un modo que no se puede expresar en términos estrictamente matemáticos. Puede que esto no responda a una imposibilidad intrínseca al modelo o a la realidad (como sería el caso, a otro nivel, del principio de indeterminación en física) sino simplemente a un grado de complejidad que excede nuestra capacidad de cálculo, incluso valiéndonos de ordenadores. Con todo, siempre es posible cuantificar con precisión una serie de entradas y salidas (*inputs*, *outputs*) que permiten ciertas generalizaciones estadísticas. Aunque el modo exacto en que se vinculan estas entradas y salidas se nos escapa, tampoco estamos ante una “caja negra”, como veremos enseguida.

¹³⁶ Schelling, 1978, pp. 88 – 89

Además de la cuestión acerca del grado de matematización que puede alcanzar una teoría, tenemos que abordar también la cuestión sobre el tipo de explicación que dicha teoría proporciona. En el capítulo 1 de *Explicación y comprensión*, von Wright comienza distinguiendo dos tradiciones, que denomina *aristotélica* y *galileana*. No debemos precipitarnos —según nos advierte el autor— a identificar sin más la primera con la ciencia antigua y la segunda con el paradigma de las ciencias naturales modernas (en particular la física matemática):

Lo que aquí llamo tradición galileana cuenta con una ascendencia que se remonta más allá de Aristóteles a Platón. Habría que cuidarse también de pensar que la tradición aristotélica representa en la actualidad no más que la supervivencia marchita de elementos anticuados de los que la ciencia se ha venido “liberando” gradualmente.

Por lo que se refiere a sus respectivos puntos de vista sobre la explicación científica, el contraste entre ambas tradiciones es caracterizado habitualmente en términos de explicación causal *versus* explicación teleológica.¹³⁷

Las explicaciones teleológicas, que aún tendrían cabida en biología, y especialmente en ciencias sociales, han adoptado finalmente un respetable carácter mecanicista —mucho más respetable— mediante las denominadas explicaciones funcionales, en las que cualquier tipo de intencionalidad queda reducida a mera apariencia (von Wright menciona el mismo ejemplo de Schelling, a saber, el mecanismo del termostato, que por su simplicidad es un modelo especialmente claro de explicación funcional¹³⁸).

Pese a todo, Elster nos advierte del peligro de buscar compulsivamente la explicación de cualquier fenómeno social por referencia a su (supuesta) función:

[...] ¿Cuándo es legítimo explicar un fenómeno en términos de sus consecuencias? Las explicaciones relacionadas con las consecuencias [funcionalismo] en este sentido están extremadamente difundidas, aunque rara vez bien fundamentadas.

[...] Cuando Darwin sentó firmemente las bases de la teoría de la adaptación biológica en el análisis causal, no sólo destruyó la tradición teológica, sino que también la sustituyó. [...] Los científicos sociales, empleando formas a veces burdas y otras veces sutiles, estudiaron la sociedad como si los supuestos de la adaptación y la homeóstasis fueran tan válidos en ese ámbito como en el ámbito animal. [...] En el terreno de la sociedad [estos] principios sufren un fallo completo. No hay mecanismo, comparable en cuanto a su generalidad y a su poder, a la selección natural, que pueda asegurar la adaptación social y la estabilidad social. Pese a esta objeción, la analogía orgánica sigue teniendo partidarios y un fuerte predicamento en los actores sociales y en los científicos sociales que los estudian.¹³⁹

¹³⁷ von Wright, 1979, p. 19.

¹³⁸ *Cfr.* von Wright, 1979, pp. 36 – 37

¹³⁹ Elster, 1988, pp. 151 – 152

En sus vertientes más exageradas la sociobiología peca de este reduccionismo. La atribución de funciones a todas las realidades sociales es de algún modo una nueva variante de esa teleología que según Spinoza remite siempre en último término a la voluntad divina, el asilo de la ignorancia¹⁴⁰. La clave para legitimar un fenómeno en términos de sus consecuencias la menciona el propio Elster en el párrafo citado: se trata de poder especificar un *mecanismo causal* que dé cuenta de cómo se produce el proceso de retroalimentación (*feedback*) propio de las explicaciones causales. Y este mecanismo es en el caso de la evolución biológica plenamente identificable, según constata el propio Elster: por un lado, tenemos un mecanismo que genera variedad (mutaciones); por otro, un mecanismo “para seleccionar y retener las pocas mutaciones que resultan útiles”¹⁴¹ (tasa de reproducción).

La lógica darwinista de la evolución es, por tanto, ese mecanismo causal que buscamos para justificar la validez de nuestro modelo. Es preciso subrayar que mi propósito no es reducir todos los fenómenos sociales a analogías biológicas, sino que nos centramos en un aspecto muy concreto —la evolución de las conductas cooperativas— cuyos mecanismos, precisamente gracias al uso de simulaciones, pueden examinarse con gran exactitud. Y si la exactitud total no está en ocasiones a nuestro alcance, conviene recordar que cuando Darwin propuso su teoría de la selección natural (que llamaba “herencia con variación”) tampoco conocía los mecanismos puntuales de la herencia que hoy nos permiten comprender con precisión el proceso evolutivo.

¹⁴⁰ Cfr. Spinoza, 1995, p. 94.

¹⁴¹ Los capítulos 8 y 9 de *Tuercas y tornillos* los dedica Elster a un análisis cuidadoso de qué tipo de explicaciones funcionales, ya sea en biología o en ciencias sociales, pueden ser realmente aceptadas como explicaciones, esto es, porque proporcionan un mecanismo causal que de cuenta de su funcionamiento.

En lo que respecta a la simulación, pues, este mecanismo causal análogo al de la selección natural se puede seguir paso a paso gracias a que el programa muestra al usuario no sólo los *inputs* y *outputs*, sino también los pasos lógicos que permiten pasar de unos a otros¹⁴².

Aplicando la analogía darwinista a los procesos que tienen lugar en modelo informático, habrá que preguntar, pues, cuál es la función de maximizar los pagos (realizar un cierto tipo de cálculos, o en lugar de otros, dentro del programa). A lo que responderemos diciendo que la función es perpetuar los algoritmos que así lo hacen (que “viven en la memoria”). Obviamente, el modelo ha sido diseñado de manera deliberadamente darwinista, lo cual lejos de ser un defecto es la prueba de que tenemos una buena representación, por cuanto las relaciones entre sus entradas y salidas se corresponden (isomorfismo mediante) con estructuras análogas observadas en el comportamiento animal y humano. En este sentido, lo que la explicación funcional nos permite es hacer abstracción del rasgo esencial a la agencia humana, esto es, la intencionalidad. No se niegan las intenciones, ni se pretende reducir el comportamiento humano a un puro esquema de estímulos y respuestas. Simplemente, el modelo nos permite prescindir de este rasgo teleológico.

La pregunta por el porqué de una simulación puede entonces, a grandes rasgos, responderse en los mismos términos que emplearíamos si se nos preguntase por el papel que desempeñan en la ciencia los modelos, o las propias teorías. Se trata de construcciones idealizadas especialmente diseñadas para representar ciertos aspectos de la realidad, y mediante esta representación, comprenderla, predecirla y eventualmente —también de acuerdo con el ideario moderno— controlarla y manipularla.

A un nivel mucho menos explícito y elaborado podemos encontrar estas mismas operaciones en el modo en que los organismos, incluyendo los seres humanos, se desenvuelven en el medio, tal como afirma Popper en un conocido pasaje.

Afirmo que no partimos de observaciones, sino siempre de problemas. Una vez que abordamos un problema conjeturamos una solución, para luego intentar criticar nuestra suposición y tal vez encontrar que puede ser refutada, que no resuelve nuestro problema o que sólo lo resuelve en parte.

¹⁴² Estos pasos consisten en: a) interacción de unos jugadores con otros, en el marco de un cierto juego (DP, por ejemplo), b) suma total de pagos obtenida por cada jugador, a lo largo de varios juegos, c) aplicación de una regla de transición que calcula cuántos jugadores, en la próxima generación, emplearán una determinada estrategia, en función de los pagos totales acumulados por los agentes que la usaban en la generación actualmente considerada. La simulación permite a su vez rastrear cada uno de estos pasos puede con mayor detalle, pues cada uno consta de varios procesos. Aunque requeriría mucho tiempo, paciencia y, especialmente, un conocimiento exhaustivo del código del programa, lo cierto es que en el caso extremo sería posible seguir cada uno de las instrucciones que se ejecutan en el programa. Lo que intento subrayar es que una simulación no tiene por qué ser una caja negra en la que se introducen ciertos datos y se extraen otros, sin poder acceder a la función que convierte aquellos en éstos. Los mecanismos causales que producen la aparente *teleología* de los agentes artificiales son totalmente conocidos.

Además, nos encontramos con que, incluso, las mejores soluciones, las que son capaces de resistir las críticas más rigurosas de las inteligencias más brillantes o ingeniosas, enseguida plantean dificultades y problemas. Por tanto, podemos decir que el aumento del conocimiento va de viejos a nuevos problemas mediante conjeturas y refutaciones.¹⁴³

La diferencia entre Einstein y una ameba, aunque ambos empleen el método de ensayo y supresión de errores, estriba en que a la ameba le desagrada equivocarse, mientras que a Einstein le intriga: busca errores conscientemente y desea aprender descubriéndolos y suprimiéndolos. El método de la ciencia es el método crítico.¹⁴⁴

Evidentemente Popper se refiere aquí a su metodología (falsacionismo), más que discutir en qué medida una ameba puede tener representaciones o teorías acerca de la realidad. A la hora de afirmar que un microorganismo cuenta con teorías o modelos del mundo, todo lo que no sea una analogía será sin duda una exageración. Sin embargo, si contamos con una continuidad evolutiva desde la ameba hasta nosotros, y si aceptando la tesis de Popper suponemos que el *método* empleado es esencialmente el mismo, podemos ilustrar mejor el papel de una simulación con el siguiente cuadro que nos propone Dawkins:

One of the most interesting methods of predicting the future is simulation. If a general wishes to know whether a particular military plan will be better than alternatives, he has a problem in prediction. There are unknown quantities in the weather, in the morale of his own troops, and in the possible countermeasures of the enemy. One way of discovering whether it is a good plan is to try and see, but it is undesirable to use this test for all the tentative plans dreamed up [...]. It is better to try the various plans out in dummy runs rather than in deadly earnest. [...]

Recently, computers have taken over large parts of the simulation function, not only in military strategy, but in all fields where prediction of the future is necessary, fields like economics, ecology, sociology, and many others. The technique works like this. A model of some aspect of the world is set up in the computer. This does not mean that if you unscrewed the lid you would see a little miniature dummy inside with the same shape as the object simulated. [...] But it does not matter how the computer actually holds its model of the world in its head, provided that it hold it in a form in which it can operate on it, manipulate it, do experiments with it, and report back to the human operators in term which they can understand. Through the technique of simulation, model battles can be won or lost, simulated airliners fly or crash, economic policies lead to prosperity or to ruin. In each case the whole process goes on inside the computer in a tiny fraction of the time it would take in real life. Of course there are good models of the world and bad ones, and even the good ones are only approximations. No amount of simulation can predict exactly what will happen in reality, but a good simulation is enormously preferable to blind trial and error. [...]

¹⁴³ Popper, 1979, p. 236.

¹⁴⁴ Popper, 2001, p. 74. También la evolución darwinista, según Popper, es en un mecanismo de mutaciones y selección una variante del “ensayo y la eliminación del error”.

If simulation is such a good idea, we might expect that survival machines¹⁴⁵ would have discovered it first. [...]. What about simulation? Well, when you yourself have a difficult decision to make involving unknown quantities in the future, you do go in for a form of simulation. You *imagine* what would happen if you did each of the alternatives open to you. You set up a model in your head, not of everything in the world, but of the restricted set of entities which you think may be relevant. [...] But, just as in the computer, the details of how your brain represents its model of the world are less important than the fact that it is able to use it to predict possible events. Survival machines that can simulate the future are one jump ahead of survival machines who can only learn on the basis of overt trial and error. The trouble with overt trial is that it takes time and energy. The trouble with overt error is that it is often fatal. Simulation is both safer and faster.¹⁴⁶

Dawkins vincula la noción de simulación básicamente a la función de predecir. Esto por sí sólo podría ser parte de un discurso para justificar la validez o los beneficios de las simulaciones. Aunque su propósito es mostrar en qué sentido puede entenderse que los organismos pueden utilizar simulaciones (imaginación), comienza trazando una analogía con otras simulaciones diseñadas explícitamente por nosotros, lo cual es precisamente lo que normalmente —y en esta tesis— se entiende por tales.

En cualquier caso, también es pertinente examinar aquellas otras simulaciones que pueden funcionar incorporadas en los propios organismos, por un doble motivo. En primer lugar, y enlazando a través de Popper con el concepto de teoría científica, se trata de destacar que una simulación no es algo tan alejado de una teoría, ya que ambos son modelos o representaciones de la realidad (es una cuestión relativa a la potencia del método, no a que el método sea la teoría). En segundo lugar, porque las simulaciones del tipo de las que nos ocuparán en este trabajo (como modelos de procesos de evolución biológica o cultural) contienen a su vez ciertas entidades, los llamados agentes artificiales, a los cuales podría también atribuírseles cierta “imaginación” a la hora de anticipar los movimientos de otros agentes.

Partiendo de la analogía de Dawkins, esto sería por tanto algo así como una meta-simulación, que nos permite estudiar en qué medida los organismos (agentes artificiales) con mejores facultades “imaginativas” se adaptan mejor a ciertos entornos. En último término, las situaciones estratégicas y de conflicto (parcial o total) que son objeto de la teoría de juegos obtienen su sentido a la luz de cómo los agentes intentan *anticipar* o *representarse* las conductas ajenas.

¹⁴⁵ De un modo algo literario, así llama Dawkins en general a los organismos.

¹⁴⁶ Dawkins, 1989, pp. 57 – 59

Pero además de estas simulaciones de segundo orden que ocurrirían en las mentes virtuales de los agentes artificiales, tenemos todavía que ocuparnos de las simulaciones propiamente dichas, los modelos informáticos, cuya función será en esta investigación no tanto predictiva, sino más bien retrospectiva o explicativa. Podemos comenzar con una definición formal, que Axelrod¹⁴⁷ toma de Bratley, Fox y Schrage:

Simulation means driving a model of a system with suitable inputs and observing the corresponding outputs.¹⁴⁸

En el capítulo 4 veremos cuáles serían en nuestro caso las entradas (*inputs*) y las salidas (*outputs*), pero antes conviene recordar cuál será el objetivo que perseguimos valiéndonos de estos modelos. Dicho muy brevemente, se trata de deducir las condiciones en las que pueden haber surgido y evolucionado diversos tipos de conductas racionales y/o morales¹⁴⁹. Para comprender cómo un modelo informático puede ayudar a este propósito, seguiremos la exposición que ofrece Axelrod en la introducción de *The Complexity of Cooperation*:

Because the study of large numbers of actors with changing patterns of interactions often gets too difficult for a mathematical solution, a primary research tool of complexity theory is computer simulation. The trick is to specify how the agents interact, and then observe properties that occur at the level of the whole society. [...]

Agent-based modelling [simulaciones] is a third way of doing science. Like deduction, it starts with a set of explicit assumptions. But unlike deduction, it does not prove theorems. Instead, an agent-based model generates simulated data that can be analyzed inductively. Unlike typical induction, however, the simulated data come from a rigorously specified set of rules rather than direct measurement of the real world. Whereas the purpose of induction is to find patterns in data and that of deduction is to find consequences of assumptions, the purpose of agent-based modelling is to aid intuition.

Agent-based modelling is a way of doing thought experiments. Although the assumptions may be simple, the consequences may not be at all obvious. [...] The large-scale effects of locally interacting agents are called “emergent properties” of the system. Emergent properties are often surprising because it can be hard to anticipate the full consequences of even simple forms of interaction.¹⁵⁰

¹⁴⁷ Axelrod, 2003

¹⁴⁸ Bratley, Fox y Schrage, 1987, p. ix.

¹⁴⁹ Si renunciamos a la tarea —muy cuestionable— de intentar extraer conclusiones normativas con la ayuda de estos modelos, las simulaciones sí pueden contribuir a descubrir las condiciones bajo las cuales pueden prosperar las disposiciones cooperativas. De este modo, sin pretender concluir cómo deberíamos ser, podemos sin embargo diseñar los entornos o instituciones que mejor favorezcan nuestras disposiciones cooperativas. No equivale a decir que favorezcamos nuestras disposiciones *morales*, sino simplemente que aprovechemos el propio egoísmo de los maximizadores racionales de manera que los conflictos se minimicen.

¹⁵⁰ Axelrod, 1997, pp. 3 – 4

A esto conviene añadir que las simulaciones permiten modificar fácilmente diversas variables que conforman el punto de partida del cual habrán de emerger esas propiedades. Estas variables pueden afectar, por un lado, al modo en que se comportan los agentes artificiales, y por otro, a la configuración del medio en el que se desenvuelven. En el primer caso, a su vez, podemos distinguir (en las simulaciones que ofrecen esta posibilidad) la manera en que los agentes “observan” y “juzgan” a los demás individuos artificiales, y la manera en que reaccionan a estos datos de entrada. Así, podemos considerar un agente artificial como una función, que va tomando valores de su entorno (estructura del juego y acciones de los demás), para devolver un cierto resultado, que será la decisión a tomar. Pasando al segundo grupo de variables, el entorno puede venir dado, entre otros factores, por el número de individuos con los que interactúa cada agente artificial, cuántas veces se repiten estas interacciones, cuál es la estructura de los pagos que definen el juego, qué probabilidades hay de que haya una próxima jugada, etc. Todos estos elementos pueden ser alterados fácilmente por el usuario, y de pequeñas variaciones en éstos pueden surgir resultados muy divergentes, a menudo imprevisibles.

De esta manera, si formalizamos un modelo de un cierto fenómeno observable (por ejemplo, la evidencia de conductas cooperativas entre seres en principio egoístas) con la simulación podemos configurar diferentes puntos de partida, para comprobar cuáles conducen al estado de cosas que hemos tomado como referencia, y cuáles no. Podemos pensar, pongamos por caso, un experimento en el que permaneciendo constantes las demás variables, modificamos sucesivamente el número de veces que se repite cada interacción (juegos iterados). Se observarán entonces una serie de resultados, que podrán variar (o no) en los diversos experimentos, lo cual nos permite concluir en qué medida afecta el número de repeticiones de un juego a la emergencia de las conductas cooperativas.

Esto es sólo un ejemplo, pero es fácil ver que la simulación —siempre suponiendo que es un modelo adecuado— permite verificar una enorme variedad de condiciones y procesos que con otro tipo de experimentos u observaciones directas de la realidad serían inabarcables por su complejidad, por la cantidad de tiempo que requerirían, o por hallarse los datos en un pasado remoto del cual no disponemos rastros suficientes. Por otra parte, la simulación no es sólo una ayuda a la intuición, como propone Axelrod. Sin duda que un modelo dinámico de cierto sistema descarga de trabajo a esa otra simulación natural que, según Dawkins, llevamos incorporada en nuestra imaginación, pero además, por el contrario, ayuda a poner coto y rigor a dichos experimentos mentales. Precisamente por nuestra reducida capacidad de cálculo o las limitaciones psicológicas a que estamos sujetos cuando intentamos representarnos estados de cosas inexistentes, puede ocurrir que nuestros experimentos mentales —mucho más frecuentes

en filosofía que en otros ámbitos— contengan errores en el tránsito de las condiciones iniciales a las conclusiones. La simulación informática supera en gran medida estas restricciones, en la medida en que su funcionamiento está rígidamente determinado por una definición precisa de los pasos a seguir (supuesto que el propio programa no contiene errores, pero esto es otra cuestión). Todo lo que necesita el investigador es conocer cómo están programados los algoritmos para garantizar que los resultados, ya sean previsibles o inesperados, no son fruto de nuestras limitaciones psicológicas. A lo largo de este proyecto, pues, la discusión propiamente filosófica irá siempre ligada a una explicación de cómo funcionan las diversas simulaciones, para que los cotos impuestos a los experimentos mentales estén efectivamente bien delimitados y reconocibles. A este respecto escribe Dennett:

Most AI projects are explorations of *ways things might be done* and as such are more like thought experiments than empirical experiments. They differ from philosophical thought experiments not primarily in their content but in their methodology: they replace some —but not all— of the ‘intuitive’, ‘plausible’, hand-waving background assumptions of philosophical thought experiments by constraints dictated by the demand that the model be made to run on the computer. [...]

The constraints imposed serve to discipline the imagination —and hence the claim— of the thought experimenter. There is very little chance that a philosopher will be surprised (or more exactly, disappointed) by the results of his own thought experiment, but this happens all the time in AI.¹⁵¹

Que los experimentos con modelos informáticos a menudo defrauden las expectativas del investigador es sin duda un síntoma de robustez, en el sentido de que es posible mediante ellos falsar la hipótesis propuesta, eludiendo el peligro de caer en teorías tautológicas. Sin embargo, también en el diseño del programa y —posteriormente ya ejecutándose éste en un ordenador— mediante la manipulación de las variables que la aplicación ofrece al experimentador, no es difícil diseñar experimentos que arrojen los resultados que buscábamos o que más nos gustaría encontrar. Si consideramos la simulación como un modelo de la realidad, al igual que en ésta, en aquél tiene que ser posible explicitar qué habría de *ocurrir* para que una hipótesis se vea desmentida por los “hechos virtuales”. Por tanto, es necesario no sólo una descripción de cómo opera el programa, sino una especificación precisa de qué resultados de la simulación confirmarían la teoría, y cuáles la falsarían.

Por último, conviene tener en cuenta una distinción entre dos tipos de simulaciones, distinción que a mi juicio raramente es tenida en cuenta, y que contribuye a realzar las ventajas que puede tener una simulación en su condición de laboratorio virtual. A menudo se llama simulación al programa que incluye un cierto formalismo matemático —tomado como modelo

¹⁵¹ Dennett, 1988

abstracto de ciertos procesos observables en la realidad— y lo ejecuta repetidas veces. La simulación contribuye así a acelerar enormemente un cálculo que podría efectuarse sobre el papel, bien que mucho más lentamente y con un alto riesgo de incluir errores. Se puede decir que este tipo de simulaciones son totalmente deductivas, pues se introducen ciertos datos y reglas, a partir de las cuales se siguen ciertas conclusiones. Un ejemplo claro de este tipo de simulaciones lo tenemos en los primeros experimentos de Skyrms¹⁵² y en Maynard Smith¹⁵³. En éstas, ambos autores aplican repetidamente la ecuación conocida como “replicator dynamics”, ideada por Maynard Smith para calcular ciertas propiedades de una población en función del estado de dichas propiedades en la generación previa¹⁵⁴. Aunque se trata de un procedimiento básicamente estadístico, no dejan por ello de ser simulaciones, puesto que permiten encontrar complejas propiedades emergentes a partir de ciertas reglas y condiciones simples. Sin embargo, como acabo de señalar, estas simulaciones podrían en teoría implementarse con suma paciencia en una hoja de papel, o de manera más precisa y manejable, en una hoja de cálculo¹⁵⁵.

El segundo tipo de simulaciones —entre las que cabe contar las de Axelrod, las de Skyrms en *Stag Hunt*, o las que he diseñado para esta investigación— son mucho menos formales e incluyen multitud de elementos que podrían considerarse detalles “empíricos” del mundo virtual. El más destacable de estos componentes empíricos es la presencia de agentes *concretos*, identificables, que interactúan entre ellos en juegos *reales*, cuyos resultados se pueden seguir puntualmente, y no de un modo meramente global y estadístico. Evidentemente es aquí, en la ejecución de la simulación, donde aprecia ese carácter menos formal que acabo de mencionar. Por lo demás, el propio diseño del programa, en cuanto conjunto de algoritmos, continúa siendo una construcción completamente abstracta. Así, aunque matemáticamente menos elegantes, este segundo tipo de simulaciones permiten estudiar una mayor variedad de procesos, muchos de los cuales serían intratables por medio puramente analíticos. Precisamente por tratarse de mundos (virtualmente) reales, permiten contrastar hechos (virtualmente) observables con las predicciones deducidas en el primer tipo de simulaciones.

Quisiera terminar esta reflexión sobre la función que pueden desempeñar las simulaciones con ordenador en una investigación de filosofía moral, recordando el objetivo que Danielson se propone en *Artificial Morality*, que en parte adopto en esta tesis:

¹⁵² Cfr. Skyrms, 1996, cap. 2 y 3.

¹⁵³ Cfr. Maynard Smith, 1977, cap. 5.

¹⁵⁴ En el capítulo 3 nos ocuparemos extensamente de la ecuación Replicator dynamics, mientras que en el capítulo 4 se analizarán sus resultados en el marco de las simulaciones propuestas por Skyrms.

¹⁵⁵ En http://bioquest.org/esteem/esteem_details.php?product_id=262 se encuentra un ejemplo excelente, que permite en una simple hoja Excel modificar diversas variables de una población *abstracta* y estudiar cómo evolucionan según un modelo propuesto por Maynard Smith.

I propose that we actually build the agents [agentes artificiales] proposed by the contending theories and test them instrumentally. [...] A new method, which I call *artificial morality*, [...] combines game theory and artificial intelligence to develop instrumental contractarianism. [...]

My approach involves both more and less than one expects to find in moral philosophy. *More* because I find that verbal arguments do not suffice; it is unusual to claim that computers are necessary to providing a justification of morality. *Less* because the agents that I propose to study are minimal agents, programmed robots. The received opinion is that morality pertains only to much more complicated agents, capable of complex thinking and communication. I have no *a priori* defence of these deviations from accepted practice. I hope that my methods will be fruitful and invite you to try them.¹⁵⁶

Hay dos diferencias importantes en mi enfoque, respecto del de Danielson, que deben anticiparse ya, aunque se tratarán extensamente más adelante. Manteniendo en lo esencial la idea de comparar instrumentalmente diversos tipos de teorías morales (encarnadas en agentes artificiales), en mis simulaciones no hay una construcción previa de dichos agentes: las propias teorías morales surgen —eventualmente, pues podrían *no aparecer en absoluto*— de un caos inicial, en el cual no sólo la moralidad no está supuesta, sino que la propia racionalidad maximizadora *no* está presente como hecho originario. Por otro lado, mis agentes no son tan mínimos como los de Danielson: ciertamente distan mucho de poseer pensamientos complejos y capacidad de comunicación, pero cuentan con muchos rasgos que no se encuentran en los agentes artificiales de Danielson, Axelrod y Skyrms. En qué medida esta profusión de detalles representa una pérdida de generalidad respecto de otros experimentos más abstractos, es algo que se discutirá y demostrará contrastando el funcionamiento y los resultados de ambos tipos de simulaciones. Por el momento sólo diré que podemos estar lejos de temer que nuestro modelo sea tan rico en detalles como la propia realidad. El grado de abstracción sigue siendo muy alto, y entiendo que la inclusión de algunas variables nuevas será una ayuda importante —y no un impedimento, como afirma a continuación Axelrod— para descubrir nuevas propiedades de un sistema o relaciones entre sus elementos.

Discovery. As a scientific methodology, simulation's value lies principally in prediction, proof, and discovery. Using simulation for prediction can help validate or improve the model upon which the simulation is based. Prediction is the use that most people think of when they consider simulation as a scientific technique. But the use of simulation for the discovery of new relationships and principles is at least important as proof or prediction. In the social sciences, in particular, even highly complicated simulation models can rarely prove completely accurate. Physicists have accurate simulations of the motion of electrons and planets, but social scientists are not as successful in accurately simulating the

¹⁵⁶ Danielson, 1992, p. 17

movement of workers or armies. Nevertheless, social scientists have been quite successful in using simulation to discover important relationships and principles from very simple models. Indeed, as discussed below, the simpler the model, the easier it may be to discover and understand the subtle effects of its hypothesized mechanisms.¹⁵⁷

Es cierto que una mayor simplicidad del modelo facilita la comprensión de los mecanismos que determinan un cierto efecto observado. Pero ya hemos visto que precisamente por la complejidad de los fenómenos a cuyo análisis sirven las simulaciones, son a menudo detalles mínimos los que dan lugar a propiedades emergentes más o menos inesperadas. En este sentido, pues, cuanto más complejo sea el modelo, siempre que sus diversas variables puedan controlarse independientemente de manera sencilla —condición satisfecha en mis simulaciones—, tanto más probable será hacer el tipo de descubrimientos que menciona Axelrod.

2.2.2 Evolución, racionalidad y decisión

Al definir el concepto de agente, habíamos propuesto una noción más amplia, que diese cabida también a entidades carentes de la intencionalidad que caracteriza la agencia humana. Habíamos insistido en que no se trata de negar este rasgo propio de nuestra naturaleza, sino simplemente de hacer abstracción del mismo, movidos por la necesidad de un método, el de los modelos informáticos, a cuyos agentes difícilmente cabe atribuirles propósitos o estados de conciencia. Como hipótesis provisional podemos hablar de “agentes sin intenciones”, hipótesis que despejaremos al final de la investigación, argumentando que si estos agentes artificiales logran evolucionar hacia comportamientos cooperativos, entonces *a fortiori* unos agentes intencionales podrían evolucionar del mismo modo, estabilizando además sus conductas mediante emociones o argumentos morales.

Este modo más laxo de considerar lo que es un agente, un sujeto de acción, también es pertinente si nos centramos en el otro marco teórico —la teoría biológica de la evolución— en el que inscribiremos las relaciones entre moralidad y racionalidad, así como una eventual revisión crítica de ésta, entendida como racionalidad maximizadora. Para explicar brevemente la conexión que estableceremos aquí entre las ideas de evolución, decisión racional y moralidad, conviene considerar la evolución al modo darwinista como un proceso de optimización —*sin que esto implique ningún tipo de teleología*¹⁵⁸— y ver al mismo tiempo que la maximización propia de la racionalidad considerada aquí también es, precisamente, un proceso de optimización (aunque en este caso sí existe un propósito maximizador). Veamos esta idea tal como la presentan Skyrms y Danielson:

¹⁵⁷ Axelrod, 1993, p. 4

¹⁵⁸ Es decir, sin sugerir que el proceso evolutivo esté *orientado a* maximizar nada.

The most striking fact about the relationship between evolutionary game theory and economic game theory is that, at the most basic level, a theory built of hyperrational actors and a theory built of possibly non-rational actors are in fundamental agreement.¹⁵⁹

This claim is striking, because, on their face, evolution and rationality are so different. While rationality tends toward a normative theory that fully applies only to extremely sophisticated, well-informed, super-agents, evolution manages to account for adaptation of the simplest organisms or even simple computer programs.

[...] Evolution and rationality differ in so many respects that it is remarkable that they could be thought of as nearly identical. As Jorgen Weibull points out, “A qualitative difference [...] between evolutionary and rationalistic approaches is that while the second focuses on individuals and what goes on in their minds, the evolutionary approach usually instead analyses the population distribution of behaviors (decision rules, strategies). One could say that the selection process replaces the mental process of choice made by rational players in classical non-cooperative game theory, while the mutation process replaces the mental process of exploring the strategy set and strategies’ payoff consequences”. Elliot Sober puts the general point forcefully, “Why bother to write about differences between two processes [deliberation and evolution] that are so obviously different? [...] Deliberation involves a change in the composition of an *individual*; evolution effects a change in the composition of a *population*. [...] Yet, in spite of these manifest differences, there seems to be an important isomorphism between the two processes... [both are] *optimizing processes*.” This isomorphism relates evolution to rationality via what Sober calls “*the heuristic of personification*: if natural selection controls which of traits T, A_1, A_2, \dots, A_n evolves in a given population, then T will evolve, rather than the alternatives listed, if and only if a rational agent who wanted to maximize fitness would choose T over A_1, A_2, \dots, A_n ”.¹⁶⁰

No se trata sólo —como a estas alturas puede resultar obvio— de que nuestra racionalidad maximizadora sea un fruto de la evolución, sino que la propia selección natural puede verse como el proceso de deliberación racional, dilatado a lo largo de prolongados períodos de tiempo, mediante el cual las especies se adaptan a un cierto entorno. Soy consciente de que esta última afirmación es sospechosa de proponer la especie (y no el individuo o el gen) como unidad de selección, idea ésta rechazada actualmente por el darwinismo más “ortodoxo”¹⁶¹. Tal como lo he expresado, podría también recordar a la quinta vía de Santo Tomas, según la cual la finalidad observada en seres que carecen de entendimiento es indicio de una inteligencia superior que los mueve. Aunque a estas alturas sabemos que la impresión de un diseño inteligente puede explicarse en términos de causas puramente mecánicas, hago esta observación

¹⁵⁹ Skyrms, 2000, p. 273

¹⁶⁰ Danielson, 2004, pp. 418 – 419.

¹⁶¹ El debate en torno a si se podía considerar al grupo —y no sólo al individuo— como unidad sobre la que opera la selección natural quedó cerrado en los años 60 y 70. Sin embargo, el influyente trabajo de Sober y Wilson, *Unto Others*, es un intento (20 años más tarde) de recuperar la hipótesis de la selección de grupos. En el capítulo 5 me volveré a referir a esta cuestión.

para evitar el peligro que más arriba señalaba Elster, esto es, que el darwinismo se convierta en otra forma de *teología* (una teología cuyo dios sería la racionalidad práctica maximizadora, manifestando su plena optimalidad en cada rincón de la creación via selección natural). Pese a las puntualizaciones que a este respecto haré en seguida, esta “heurística de la personificación” es el título que podemos darle a este aspecto del método que aplicaremos en la presente investigación¹⁶².

Pero no sólo a este nivel descriptivo puede la heurística de la personificación ser una herramienta para el análisis del comportamiento humano. También aporta elementos normativos en cuanto a qué estrategia debería escoger un agente racional en un entorno *complejo*. En los casos más simples e idealizados, la teoría de juegos convencional, con su análisis puramente formal, es suficiente para prescribir la acción óptima que debería escoger un agente racional. Sin embargo, si adoptamos el enfoque de Gauthier y nos centramos en la elección de disposiciones más que de acciones, y si nos movemos en un marco de cierta complejidad, entonces el cálculo de una estrategia óptima queda fuera del alcance de las soluciones propuestas por un sistema puramente axiomático (cuando hablo de entornos complejos me refiero a una suma de diversos factores, entre los que cabe contar la densidad de la población y sus relaciones espaciales, la gran variedad de disposiciones posibles que podrían adoptar los otros agentes —no ya sólo escoger A o B en una acción puntual— o el número de veces que puede repetirse una interacción, o las reputaciones que se van formando según los jugadores observan las conductas de otros). En un contexto semejante sí tendría sentido prescribir el tipo de acción que la evolución haya probado ser más exitosa. En el capítulo 5 discutiré las diferencias entre la conocida falacia naturalista y este otro tipo de normatividad propiciado por la heurística de la personificación, que lejos de ser una falacia responde al proyecto de Gauthier de fundamentar una moralidad sobre principios puramente racionales.

Ahora es el momento de hacer las precisiones que había anticipado más arriba, relativas a las *diferencias* entre racionalidad y evolución.

- 1) El isomorfismo que destacan estos autores mediante la heurística de la personificación no es del todo exacto¹⁶³. En ocasiones la evolución puede seleccionar estrategias instrumentalmente inferiores a las que un individuo podría alcanzar por elección racional. En otras circunstancias, por el contrario, la evolución puede hacerlo mejor que la elección racional. En primer tipo de casos se debe a que la evolución se efectúa

¹⁶² Tal como quedó descrito en el apartado anterior, en lo esencial el método consiste en el uso de modelos informáticos para representar la evolución de comportamientos racionales y morales.

¹⁶³ De hecho, los respectivos artículos de Danielson y Skyrms están orientados a mostrar también las divergencias entre racionalidad y evolución, partiendo, como hemos visto, de esas semejanzas que tampoco deben ser pasadas por alto.

mediante cambios graduales, que pueden estancar el proceso de optimización en los llamados “máximos locales”; podría haber aún mejores posibilidades, a las que sólo se podría llegar modificando simultáneamente, y de manera no gradual, una multitud de elementos¹⁶⁴. La evolución es un proceso de optimización por ensayo y error, cuyos excelentes resultados sólo se obtienen a lo largo de mucho tiempo, y sin garantías de que sean el *mejor* estado posible. Por el contrario, los modelos evolutivos muestran que la selección natural encuentra soluciones que a los que la racionalidad maximizadora no puede acceder. Un ejemplo claro los tenemos en los experimentos de Axelrod, donde el test evolutivo de los torneos informáticos acaba seleccionando estrategias cooperativas para el DP. Ciertamente este resultado es posible gracias a que el juego se presenta en su variante iterada, pero esto es precisamente lo que ocurre en la realidad, y donde la teoría de juegos convencional no puede ayudarnos. Otro caso lo tenemos en el problema presentado por Skyrms con el juego conocido como “partir la tarta” (del cual me ocuparé en la sección 4.4). En este juego existen infinitos equilibrios de Nash, de manera que un agente racional no podría decidirse por ninguno de ellos, mientras que extendiendo el juego a lo largo de varias generaciones no sólo surge *un* equilibrio, sino que éste concuerda con algunas de nuestras intuiciones básicas acerca de la justicia.

- 2) El estancamiento en máximos locales que acabo de mencionar es el lado oscuro de un mismo fenómeno, que por lo demás puede en otros casos ser favorable para la toma de decisiones. Este aspecto positivo de un método de selección, la evolución, que dista de ser perfectamente racional queda de manifiesto cuando consideramos el tipo de problemas al que Herbert Simon intentó dar solución con su concepto de “bounded rationality”. La diferencia fundamental entre la racionalidad como maximización bayesiana, y el modo mucho menos ideal en que los agentes reales tomamos decisiones, es la siguiente:

In most global models of rational choice [maximización bayesiana, utilidad esperada], all alternatives are evaluated before a choice is made. In actual human decision-making, alternatives are often examined sequentially. [...] When alternatives are examined sequentially, we may regard the first satisfactory alternative that is evaluated as such as the one actually selected. [...] If a chess player finds an alternative that leads to a forced mate for his opponent, he generally adopts this alternative without worrying about whether another alternative also leads to a forced mate.¹⁶⁵

¹⁶⁴ Una buena exposición de esta limitación de la optimización natural a los “máximos locales” se encuentra en Elster (1993, cap. 8).

¹⁶⁵ H. Simon, 1957, p. 252. Quizá el ejemplo del jugador de ajedrez no sea el más adecuado para lo que Simon quiere dar a entender, ya que un jaque mate es la solución *óptima* en un juego de ajedrez. Quizá convendría añadir que el jugador de ajedrez, si dispusiese del tiempo suficiente, podría quizá seguir buscando alguna otra manera, *más*

La teoría de juegos (la teoría de la decisión en general) considera juegos simples, donde no es difícil considerar todas las opciones desde el principio, y evaluarlas según las reglas de la racionalidad bayesiana. Pero en circunstancias complejas un examen sucesivo de posibilidades, deteniéndonos al encontrar alguna opción que se ajuste a nuestros *niveles de aspiración*, sería más racional que una persecución de la racionalidad perfectamente maximizadora. Este método de decisión propuesto por Simon, basado en lo que llama “niveles de aspiración” es análogo a la adaptación a un máximo local, esto es, el tipo de solución al que conduce la selección natural. Esta renuncia a los máximos globales buscados por la racionalidad en su sentido estricto resulta, paradójicamente, más racional en sus mismos términos maximizadores cuando es lógicamente imposible examinar todas las posibilidades¹⁶⁶, o cuando sin existir un impedimento intrínseco, el coste de la deliberación supera los beneficios esperados de una solución óptima.

Estas breves observaciones no implican un rechazo del modo convencional de entender la racionalidad práctica, esto es, como maximización de la utilidad según el esquema axiomático propuesto por la teoría de la decisión heredada. Estos principios se mantienen incluso con la ampliación propuesta en 2.1.5 para dar cabida también a las preferencias altruistas. Como cuestión metodológica, los agentes artificiales que emplearé en mis simulaciones tienden siempre a esta forma ideal de maximización. Esta *tendencia* no significa tampoco que sean o deban ser siempre perfectamente racionales, sino que la posibilidad de que lo sean queda abierta dentro del programa, pero sin ser el punto de partida, sino más bien un resultado contingente del proceso evolutivo simulado en la dinámica de la simulación. Sin embargo era preciso destacar este concepto de “racionalidad limitada”, por dos motivos. El primero es que pese a contar potencialmente con agentes idealmente racionales, el modelo se ve en ocasiones restringido por

artística, de dar mate. Sin duda sería aún mejor que rematar la partida con una jugada poco vistosa, y sin embargo, en efecto, esta codicia pocas veces ocurre y el jugador escoge la primera alternativa que encuentra para dar jaque mate.

¹⁶⁶ Imagine a decision maker who has to solve an optimization problem in order to maximize utility over a set of decision alternatives. [...] It is useful to distinguish between familiar and unfamiliar problems of this kind. A problem is familiar if the decision maker knows the optimal way to attack it, i.e., knows that to do through priori training of mathematical investigation, or perhaps the problem is so simple that a suitable method immediately suggests itself.

In the case of an unfamiliar problem, the decision maker must devise a method for finding the alternative to be chosen before it can be applied. This leads to two levels of decision-making activities [...]:

Level 1: Finding the alternative to be chosen

Level 2: Finding a method for Level 1

What is the optimal approach to the problem of Level 2? One can hardly imagine that his problem is familiar. [...] Therefore, some time must be spent to find an optimal method for solving the task of Level 2. [...]

It is clear that in this way we obtain an infinite sequence of levels $k = 2, 3, \dots$ provided that finding an optimal method for Level k continues to be unfamiliar for every k . (Selten, 2002, p. 17)

ciertas limitaciones, que no responden a la capacidad de cálculo finita del ordenador, sino a estructuras que por sí mismas presentan problemas de recursividad infinita. En el capítulo 3.7 veremos que se presenta una de estas situaciones cuando intentamos implementar los agentes transparentes propuestos por Gauthier: saber que el otro sabe que yo sé que él sabe que yo sé que... No es una mera curiosidad lógica, puramente teórica, sino que muestra su dificultad práctica a la hora de especificar métodos para conocer las disposiciones ajenas y dar a conocer las propias. El segundo motivo, más importante en este punto de la argumentación, era explicitar las diferencias entre racionalidad y evolución —aun siendo ambos procesos de optimización— para entender en qué circunstancias la racionalidad limitada de la evolución puede ser superior o inferior a la racionalidad perfecta de los agentes ideales considerados por la economía.

En su noción de racionalidad limitada Simon se refiere a los agentes *reales* y al modo en que *realmente* tomamos decisiones, pero esto no tiene por qué constituir una puesta en entredicho del modelo normativo que propone la teoría de la decisión. En su aspecto descriptivo, la crítica de un modelo o una teoría por su carácter *poco realista* no debería impresionarnos mucho tan pronto como reflexionamos sobre algunas cuestiones básicas relativas a la naturaleza de las teorías científicas, en particular, el carácter inevitablemente ideal (a menudo incluso una falsificación de la realidad) de cualquier teoría. Ello además del consabido problema de que en ciencias sociales el objeto de estudio sea a su vez el sujeto que lo estudia. Este trabajo no quiere ser reduccionista en el sentido peyorativo que se suele dar al término. Sólo lo será en el sentido de que acota un campo, definido por ciertos problemas que consideramos relevantes, pero sin decir nada acerca de otras *realidades* que no son nuestro objeto en este caso. Quisiera acabar este capítulo con unas observaciones de Milton Friedman relativas a la cuestión del realismo en las teorías científicas, que nos valdrán para ponernos a cubierto de las objeciones que podrían plantearse en este sentido.

[...] Una hipótesis es importante si “explica” mucho con poco, esto es, si abstrae los elementos comunes y cruciales de entre la masa de circunstancias complejas y detalladas que rodean al fenómeno que ha de explicarse y permite predicciones válidas sobre la base de ellos solos [los elementos comunes]. Para ser importante, por tanto, una hipótesis debe ser descriptivamente falsa en sus supuestos; no da cuenta de ninguna de las otras circunstancias concurrentes, pues su mismo éxito muestra que son irrelevantes para el fenómeno a explicar.

Para decirlo de manera menos paradójica, la pregunta relevante en relación con los “supuestos” de una teoría no es si son descriptivamente “realistas”, pues nunca lo son, sino si son aproximaciones lo bastante buenas para el propósito de que se trate. Y esta pregunta sólo se puede resolver mirando si la teoría funciona, es decir, si proporciona predicciones suficientemente precisas.¹⁶⁷

El fenómeno a explicar por nuestra teoría-modelo es el surgimiento de la cooperación (en general la conducta que hemos venido llamando moral), intentando probar que esto es posible a partir de situaciones originalmente amorales. Es importante dejar claro que *no* se pretende afirmar que las personas seamos un mero conjunto de instrucciones programadas en nuestros genes, como si esto fuese el correlato necesario para que los agentes artificiales de la simulación sean un modelo apropiado. Para que el modelo conserve su validez basta con que se pueda de algún modo describir nuestra conducta *como si* fuésemos esos algoritmos, que por sí mismos no tienen consciencia, preferencias, egoísmo ni altruismo. Tenemos en este ejemplo de Friedman una ilustración muy apropiada:

[...] Consideremos la densidad de las hojas de un árbol. Propongo la hipótesis de que se sitúan como si cada una de ellas, deliberadamente, tratase de maximizar la cantidad de luz solar que recibe, dadas las posiciones de sus vecinas, dado su conocimiento de las leyes físicas que determinan qué cantidad de luz recibiría en cada posición de las disponibles, y si fuera capaz de moverse rápidamente desde cualquier posición hasta la mejor posición posible. Algunas implicaciones de esta hipótesis son obviamente coherentes con la experiencia: por ejemplo, hay más densidad de hojas hacia el sur, donde la intensidad de la luz es mayor [...] ¿es la hipótesis inaceptable o inválida porque, hasta donde sabemos, las hojas no “buscan” consciente o “deliberadamente” su lugar, no han ido a la escuela y aprendido física ni pueden moverse de un lado a otro? Claramente, ninguna de estas contradicciones de la hipótesis es vitalmente relevante [...] La hipótesis no dice que las hojas hagan eso, sino que su distribución en el árbol es *como si* hicieran eso.¹⁶⁸

A la inversa, del mismo modo se podrá interpretar que los agentes artificiales se comportan *como si* reflexionasen, fuesen libres o tuvieran preferencias como estados mentales, aunque obviamente no es así.

Para terminar, quisiera mencionar el otro riesgo que siempre amenaza durante el desarrollo de un modelo o un experimento: que los diseñemos de manera tal que produzcan los resultados que esperamos. He intentado todo lo posible evitar este problema, especialmente a la vista de que, según lo entiendo, es una tendencia que afecta en mayor o menor medida a los planteamientos de los autores que estudiaremos aquí. El trabajo pionero en este campo es el de Axelrod, quien simuló contextos evolutivos donde competían diferentes programas informáticos

¹⁶⁷ Friedman, 1966, p. 188.

¹⁶⁸ Friedman, 1966, p. 191

enfrentados en situaciones de DP. Sin embargo, los participantes que enviaban los programas eran humanos, y por lo tanto ya inclinados hacia la racionalidad, el egoísmo o la cooperación y, muy especialmente, guiados todos por el *propósito* de ganar. La posibilidad de este sesgo existe siempre. Los modelos posteriores de Axelrod, Danielson y Skyrms lo evitan en gran medida, y consiguen ser buenas representaciones definiendo ciertas condiciones muy estrictas. Mostraré sin embargo que en ocasiones siguen presuponiendo las nociones cuyo surgimiento queremos analizar. Mi propósito con este programa, siempre perfeccionable, es dar cabida a la mayor cantidad posible de indeterminación, de caos (y para nuestro caso esto significa tanto irracionalidad como ausencia de intenciones o propósitos morales) a fin de probar con ello que incluso en las circunstancias menos favorables la racionalidad y la moralidad pueden prosperar.

3. Modelos informáticos de interacciones estratégicas

3.1 Las simulaciones en Axelrod, Danielson y Skyrms:

características fundamentales y comparación con la herramienta *Bichos*

Los modelos informáticos que iré presentando en este capítulo pretenden servir al estudio de fenómenos abordados por la disciplina conocida como Teoría de Juegos Evolutiva, cuyo objeto y métodos expuse en los capítulos anteriores. Introduciré las simulaciones desarrolladas por Axelrod, Danielson y Skyrms, así como la que he preparado específicamente para esta investigación, a la que me referiré por su nombre corto, *Bichos*. Mi propósito con esta herramienta es incorporar las aportaciones de aquellos autores, pero superando ciertas limitaciones que presentan sus modelos, a fin de incrementar el poder explicativo de este método en relación con el problema del surgimiento de la moralidad y la justificación de su racionalidad. En cada caso especificaré qué elementos de mi herramienta guardan similitudes con programas anteriores, y cuáles son las novedades y mejoras aportadas en relación con éstos. El enfoque de este capítulo es ante todo teórico, una exposición de cómo funcionan estas simulaciones, definiendo los conceptos más relevantes que nos permitirán en el próximo capítulo poner en práctica esta técnica del “laboratorio virtual” y analizar sus resultados.

Cronológicamente el referente inicial de *Bichos* lo tenemos en el primer torneo informático que llevó a cabo Axelrod (1980), en el cual diversas estrategias entendidas como algoritmos informáticos, se enfrentaban en la situación conocida como Dilema del Prisionero iterado (DPI) y decidían en cada caso si cooperar o defraudar.

Comencemos notando que mientras el modelo de Axelrod en *La evolución de la cooperación* representa un contexto “rígido”, donde una serie de estrategias se comparan por sus resultados jugando siempre al DPI, en *Bichos* la posibilidad de modificar los pagos que definen el juego permite estudiar la evolución de estrategias en una amplia gama de situaciones que también plantean importantes cuestiones para la ética, y no solamente en el DP. Esta primera diferencia es algo trivial, pues cuál sea la situación estratégica a considerar es una decisión del autor (en este caso Axelrod) que por lo demás puede modificarse sin mayor inconveniente. Pero además de ésta, hay otros avances más relevantes, los cuales paso a enumerar brevemente.

1) En los torneos de Axelrod las diversas estrategias programadas por los concursantes se enfrentan todas contra todas (como en una liga). Sin duda esto es una prueba muy exigente para comprobar la robustez de las diversas estrategias. La objeción habitual a este planteamiento es que no cuenta con las correlaciones que en la realidad determinan que los jugadores —ya sean bacterias, seres humanos o empresas— tiendan a interactuar más con unos que con otros. Un caso típico en el que se manifiesta esta correlación de interacciones son las relaciones de territorialidad. Axelrod estudia la influencia de la territorialidad en el capítulo 8 de *La evolución de la cooperación*: se trata de una interesante primera aproximación al tema, pero entiendo que un desarrollo más completo de este punto se encuentra en los modelos de Skyrms:

There is a rich biological literature showing that, in nature, pairing may not be random. This may be due to a tendency to interact with relatives, or with neighbors, or with individuals one identifies as being of the right type, or with individuals with which one has had previous satisfactory interactions, or some combination of these. [...] a theory that can accommodate all kinds of non-random pairing would be a more adequate framework for realistic models. [...] non random pairing might occur because individuals using the same strategies tend to live together, or because individuals using different strategies present some sensory cue that affects pairing, or for other reasons. We would like to have a framework general enough to accommodate all kinds of non-random pairing¹⁶⁹.

Dada la distribución de los agentes en un “mapa”, *Bichos* permite analizar la influencia que tienen las relaciones espaciales (territorialidad) en la evolución de las conductas. También pueden ejecutarse juegos que *no* dependen de ninguna disposición espacial, aunque en estos casos tampoco ocurre, como en Axelrod, que todos los jugadores interactúan *con todos* los demás. En *Bichos* cada jugador interactúa con un número reducido de agentes dentro de la población, pero *no con los mismos*, sino que los emparejamientos están distribuidos al azar (*random pairing*). Este procedimiento, incluso sin representar estructuras espaciales, proporciona un modelo más realista. Ello se debe a que un sistema “de liga”, después de todo, equivale a un inmenso vecindario único, que inclina la evolución de la cooperación hacia resultados mucho más favorables que reduciendo los emparejamientos a grupos locales (*clusters*) dentro de una población total, ya sean los miembros de estos grupos siempre los mismos, ya sea que varíen al azar. El modelo de *Bichos* permite, pues, modificar en diversos grados la rigidez de las redes “geográficas” de interacción, aunque en principio —si lo que buscamos es realismo— deberíamos centrarnos en simulaciones donde los vecindarios están bien definidos y permanecen fijos¹⁷⁰.

¹⁶⁹ Skyrms, 1996, p. 53.

¹⁷⁰ En el capítulo 7 de *The Complexity of Cooperation* Axelrod retoma la cuestión de la territorialidad, pero no en el marco de la teoría de juegos, sino en relación con la imitación y difusión de rasgos culturales. Estas primeras comparaciones que estoy trazando son ante todo una lista de temas, que en cada caso quedarán vinculados con el

2) Los criterios de selección que determinan qué cantidad de agentes emplearán una cierta estrategia, en función del éxito obtenido por dicha estrategia en la generación previa, no están demasiado especificados. Tan sólo en una nota al pie¹⁷¹ Axelrod explica brevemente lo que parece ser el criterio conocido como “replicator dynamics”. Por otra parte, en el capítulo 8 Axelrod presenta un modelo donde diversas estrategias se difunden en una población considerada geográficamente, de acuerdo con el cálculo que más adelante llamaremos “MaxiMax”¹⁷².

La regla empleada por Danielson en *Artificial Morality* es bastante diferente, pues aunque calcula el rendimiento promedio de las diversas estrategias al interactuar entre sí, las diferencias que se aprecian en este test de la racionalidad instrumental no repercuten en la frecuencia relativa con que las diferentes estrategias aparecen en la población¹⁷³. Según el propio Danielson, su test es “evolutivo [...] porque comienza con una población del jugador [la estrategia] que habrá de contrastarse y supone que aparecen nuevos jugadores para llenar los nichos que vayan surgiendo”¹⁷⁴. Puesto que estos nuevos jugadores que van apareciendo son deliberadamente introducidos por el autor, el sentido en que este primer modelo de Danielson sea evolutivo queda un tanto alejado de la connotación plenamente darwinista que caracteriza a *Bichos* o a los modelos de Skyrms.

En general —no sólo en los primeros ensayos de Axelrod— las reglas utilizadas para calcular la dinámica evolutiva no han recibido toda la atención que merecen, y por lo común se ha adoptado la ecuación replicator dynamics, propuesta por Maynard Smith y bautizada así por Schuster y Sigmund, quienes además pudieron confirmar empíricamente su validez en varios niveles biológicos¹⁷⁵. Sin embargo, no hay por qué suponer que esta misma ecuación sea igualmente apropiada para describir una evolución cultural, dirigida más por imitación (resultante a su vez de elecciones racionales) que por herencia.

autor que a mi modo de ver los plantea del modo más relevante, sin implicar con ello que otros no les hayan prestado ninguna atención.

¹⁷¹ Página 57 de la edición española.

¹⁷² “MaxiMax” debe su nombre a ciertas analogías con el procedimiento del mismo nombre empleado en teoría de la decisión. Pero no se trata de esta misma regla: a diferencia de la teoría de la decisión, lo que aquí se “elige” son estrategias o *disposiciones* para escoger acciones, y no las acciones mismas. Estas reglas se explican en el epígrafe 3.3.1.

¹⁷³ *Cfr.* Danielson, 1992, pp. 96 – 101

¹⁷⁴ Danielson, 1992, p. 101

¹⁷⁵ *Cfr.* Schuster y Sigmund, 1983

3) Una característica importante de las primeras simulaciones de Axelrod es que las estrategias consideradas fueron diseñadas por seres humanos, orientadas al propósito explícito de intentar maximizar los pagos totales en un DPI. En los ensayos que aparecen posteriormente en *The Complexity of Cooperation*¹⁷⁶, el planteamiento es el que he adoptado para *Bichos*: el objetivo maximizador no está presente como punto de partida, sino que las estrategias son generadas (al inicio de cada simulación) de manera completamente azarosa, dando lugar a una especie de “sopa primigenia” con una enorme variedad de estrategias potencialmente irracionales o inmorales. En su segunda serie de experimentos Axelrod introduce también el procedimiento conocido como “algoritmo genético”, que permite simular la reproducción sexual de los organismos, combinando diversas partes (genes) de dos algoritmos existentes, en lugar de heredarlos todos de un único individuo. En mi modelo es posible considerar ambos tipos de herencia, siendo la reproducción “asexual” más apropiada para simular procesos de imitación. En cualquier caso, el número de “genes” que regulan el comportamiento de *Bichos* es mayor —y vinculados de una manera más compleja— que el que encontramos en los autómatas de estas simulaciones más recientes de Axelrod¹⁷⁷.

¹⁷⁶ *The Complexity of Cooperation* (1997) es la secuela natural de *La evolución de la cooperación* (1984) y recoge una serie de ensayos escritos por Axelrod a lo largo de los años 80 y 90 (también en colaboración con otros autores). Manteniendo el estilo ameno y accesible, representa un avance considerable, al menos en dos aspectos. El primero —que es el que más nos interesa en esta investigación— está en el planteamiento de las simulaciones del DP, de las cuales ha desaparecido la mano humana que diseñaba los algoritmos en los primeros torneos. En su lugar, las estrategias están producidas al azar, recombinándose posteriormente las de mayor éxito adaptativo o variando gradualmente por mutaciones (la recombinación se funda en el concepto de algoritmo genético, un modelo de reproducción sexual del cual nos ocuparemos en el capítulo 4.3). Esto evita cualquier sesgo inicial a favor de las estrategias cooperativas, y lo que es más interesante, permite el descubrimiento de nuevos algoritmos no previstos, algunos de ellos muy efectivos. También dedicado al DP, el segundo capítulo trata la influencia del *ruido* en la evolución de la cooperación (se denomina “ruido” a los errores en la ejecución de una acción por parte del agente, o en la apreciación de la misma por parte de un observador). Es en este contexto donde los algoritmos genéticos muestran su potencia, generando estrategias que se superponen más eficazmente a estas interferencias; más concretamente, esto se debe a que Toma y Daga es una estrategia demasiado severa, una característica ya reconocida en *La evolución de la cooperación*. La segunda novedad es la aplicación de modelos informáticos (*agent-based models*) a otro tipo de fenómenos tales como la estabilidad de las normas, la formación de coaliciones, el carácter “contagioso” de los patrones culturales o el surgimiento de convenciones. Dada su gran extensión, en el presente trabajo no me puedo ocupar de estos otros aspectos, pero sirven para resaltar cuál es la aportación del nuevo enfoque de Axelrod: mostrar la amplitud y flexibilidad que pueden tener este tipo de modelos para las ciencias sociales. En este sentido, Axelrod se muestra consciente de que estas herramientas no son sólo una curiosidad teórica que ocasionalmente puede ser de ayuda para el investigador, y dedica los últimos capítulos a cuestiones técnicas en torno a lenguajes de programación y compatibilidad entre diversos tipos de modelos. Sobre el uso de estas simulaciones, sus posibilidades y alcance, Axelrod desarrolla una reflexión más amplia en la introducción, a la cual nos hemos referido en el capítulo anterior. Pese a algunos puntos que discutiré en el próximo capítulo, *The Complexity of Cooperation* supone una excelente exposición teórica y una demostración práctica del método que adopto para esta investigación.

¹⁷⁷ El desarrollo teórico de este punto se encuentra en 3.3.2. En la sección 4.3 volveremos a abordar la cuestión comparando los resultados concretos ofrecidos por las simulaciones de Axelrod y los obtenidos con *Bichos*.

4) Me ocuparé ahora de una *semejanza* respecto de los modelos diseñados por Axelrod, pero que representa una diferencia significativa en relación con la propuesta de Danielson, según veremos en seguida. Los agentes artificiales de mi simulación *no* son transparentes, esto es, no conocen las disposiciones (algoritmos) de los demás jugadores. En los torneos de Axelrod, algunos de los programas enviados intentaban descubrir cuál era el algoritmo empleado por sus competidores, recurriendo a veces a métodos estadísticos muy complejos¹⁷⁸. La generación aleatoria de estrategias puede en *Bichos* crear algoritmos que intentan inferir las disposiciones ajenas a partir de las conductas observadas, aunque de un modo menos sofisticado que los programas más elaborados del primer torneo organizado por Axelrod. De todos modos, el tipo de razonamiento inductivo que puede llegar a encontrarse en mi modelo no está tampoco regido por el propósito de hacer *buenas* inducciones. El procedimiento que he incorporado es muy básico, pero lo cierto es que un refinamiento mayor supondría introducir nuevamente un sesgo demasiado racional. Los algoritmos tienen acceso a los movimientos o jugadas realizados por otros jugadores. De estos “hechos” seleccionan algunos y elaboran con ellos una estadística muy simple (media aritmética). Por último, estos resultados sufren una transformación adicional, según la importancia relativa que una cierta estrategia asigna a determinados datos¹⁷⁹. La elaboración de una simple media no responde exactamente a lo que sería una actualización de creencias de acuerdo con la regla de Bayes, pero por ello mismo representa cierto equilibrio entre lo que sería un razonamiento perfecto y el modo intuitivo en que realizamos inducciones, pese a las falacias en que pueda incurrir nuestro sentido común. De ahí que haya dejado abierta la posibilidad de que surjan también estrategias cuyas conclusiones no se ajusten siquiera a lo que nuestra intuición nos diría que es una inducción correcta¹⁸⁰.

5) Estrechamente relacionado con el punto anterior encontramos una importante divergencia de *Bichos* respecto de otras simulaciones (no sólo las de Axelrod). En *Bichos*, un agente A puede intentar descubrir las disposiciones o algoritmos ajenos de otro jugador B, no sólo atendiendo a las interacciones previas entre ambos (A y B) sino también observando jugadas anteriores de B con otros jugadores (C, D, etc.). Esta formación de “reputaciones” responde a mi intención de crear¹⁸¹ jugadores similares a los que diseña Danielson en *Artificial*

¹⁷⁸ Cfr. Axelrod, 1986, pp. 43 – 44

¹⁷⁹ Para una comprensión precisa de estos pasos recomiendo la lectura del Apéndice A, especialmente a partir del epígrafe 4.

¹⁸⁰ Lo que quiero señalar es que un algoritmo que razona mal no se aproxima siquiera al hábito que nos lleva a creer que el futuro será semejante al pasado. Y estos algoritmos son posibles, aunque ciertamente los habrá también con “buenos hábitos”. En este sentido, pues, me estoy refiriendo a un nivel todavía inferior al que sería objeto de las críticas de Hume o Popper relativas a las deficiencias lógicas de las inferencias inductivas.

¹⁸¹ Siempre que empleo términos como “crear” no me estoy refiriendo —como es el caso en muchos modelos informáticos— al diseño deliberado por parte del programador de algoritmos que respondan a un cierto propósito. Lo que quiero decir es que existe *la posibilidad* de que el programa genere al azar estrategias que hagan tal o cual cosa, pero igualmente podría *no* crearlos.

Morality, pero sin emplear la transparencia total que él confiere a sus agentes artificiales. En las simulaciones de Danielson los jugadores pueden leer directamente los algoritmos ajenos, de manera que A puede saber lo que B haría no sólo contra él mismo, sino también contra C. Esta “curiosidad” de los agentes artificiales por las interacciones que no les atañen directamente está vinculada a ciertas cuestiones acerca de la transitividad de la justicia¹⁸². También en el capítulo 8 de *La evolución de la cooperación* ya encontramos observaciones de Axelrod sobre la importancia de las reputaciones para el mantenimiento de conductas cooperativas. En el epígrafe 3.5 tendremos ocasión de ver los motivos de Gauthier y Danielson para rechazar la relevancia moral de los juegos iterados (y las reputaciones que surgen de ellos) y en qué medida puede el planteamiento de mi modelo superar esta crítica.

Todo lo dicho hasta aquí sólo cobrará pleno sentido mediante la comprensión del llamado “autómata celular”, el artificio cibernético en el que se basan estos modelos de interacción espacializada. En el punto (1) de este primer repaso he señalado que en el caso particular de *Bichos*, también las simulaciones que *no* representan relaciones de vecindad se ajustan a este esquema básico, por lo cual será éste el punto del que debemos partir.

3.2 El autómata celular

En la introducción (1.2.3) habíamos esbozado rápidamente la historia del autómata celular. Ahora es el momento de explicar cuidadosamente en qué consiste y cómo funciona. Para ello citaré extensamente la exposición de Hayes, que he modificado en algunos puntos para facilitar su lectura.

La noción de autómata celular tiene aproximadamente la edad del ordenador electrónico digital. Las primeras investigaciones en este campo las emprendió John von Neumann (con importante contribución de Stanislaw Ulam) a comienzos del decenio de 1950. La ambición fundamental de von Neumann era idear un sistema sencillo capaz de reproducirse por sí mismo, a imitación de los seres vivos. El más conocido de los autómatas celulares, el “juego de la vida”, inventado por John Horton Conway en 1970, presenta también un aspecto biológico, como su nombre sugiere. Sus células nacen, viven o fallecen, de acuerdo con la densidad de la población.

[...] Cuatro son las propiedades que caracterizan a los autómatas celulares. La primera es la organización geométrica de la formación o matriz celular. [...] en casi todos los contextos se opta por un retículo ortogonal, formado por cuadrículas idénticas. Aunque la construcción de formaciones de tres o más dimensiones no ofrece dificultad conceptual, no resultan fáciles de visualizar.

¹⁸² A este respecto es muy interesante el diálogo entre Gauthier y Danielson acerca de si habría otro tipo de disposición, aparte de la maximización restringida propuesta por Gauthier, que resultase incluso más racional que ésta (más racional en el sentido de que no tuviese que restringir tanto la maximización). La discusión puede seguirse en Danielson (1988) y en la respuesta de Gauthier (1988).

[...] En el interior de cada matriz o formación celular debemos especificar el vecindario o el entorno que cada célula ha de examinar para concluir cuál será su siguiente estado. Hay en el reticulado ortogonal plano dos tipos de vecindad que han merecido gran atención. Von Neumann confinó la atención de cada célula a sus cuatro vecinas más inmediatas, las situadas al norte, sur, este y oeste de ella; este conjunto de células es hoy conocido por entorno de Von Neumann. El entorno formado por esas cuatro células, las cuatro diagonalmente adyacentes a la central [noroeste, noroeste, sudeste, sudoeste] ha sido bautizado entorno de Moore, en honor de Edward F. Moore. Evidentemente, los entornos pueden interceptarse y superponerse parcialmente unos a otros, por lo que una misma célula pertenece a un mismo tiempo a los entornos de varias otras, adyacentes a otras. En ciertos casos [no contemplado en *Bichos*], la célula central, es decir, la célula que está realizando el cálculo, se considera también miembro de su propio entorno.

El tercer factor a considerar en la descripción de un autómata celular es el número de estados que cada célula puede adoptar. Von Neumann descubrió una configuración capaz de autoreproducirse, formada por células con 29 posibles estados; pero la mayoría de los autómatas estudiados son mucho más sencillos. Hay verdaderamente campo suficiente de variación incluso limitándonos a autómatas binarios, cuyas células pueden encontrarse tan sólo en dos estados distintos, habitualmente representados por 1 y 0, verdadero o falso, o viva o muerta [en nuestro juego, según veremos, los estados posibles son virtualmente ilimitados, y no son otra cosa que la suma de pagos obtenidos por cada jugador en cada generación].

[Cuarto factor] La razón fundamental de la variedad y riqueza de formas del universo de los autómatas celulares es el inmenso número de posibles reglas para determinar el futuro estado de una célula a partir de la configuración actual de su entorno.¹⁸³

Para nuestro propósito no es muy relevante explicar en qué consisten esas reglas de tan enorme variedad (para un autómata binario con entornos de Von Neumann hay más de 65.000 posibles reglas de transición)¹⁸⁴. Nos centraremos directamente en las reglas de estas otras simulaciones que combinan el enfoque evolutivo con la teoría de juegos. Se trata de reglas considerablemente distintas de aquellas aplicadas por los autómatas celulares clásicos, y mucho menores en cantidad (sólo cuatro en *Bichos*, apenas una o dos en algunos modelos de Axelrod o Skyrms). Esta diferencia se debe a que lo examinado con estas reglas, aplicadas en el tránsito de una generación a la siguiente, sólo atiende a la relación entre los resultados obtenidos por los jugadores (aptitud o rendimiento, *fitness*) y la frecuencia relativa con que aparecen las diversas estrategias en la población. No hay muchas maneras de relacionar estas dos medidas, si queremos que la dinámica sea evolutiva, pues la presencia de una estrategia tiene que ser de

¹⁸³ Hayes, 1984, pp. 102 – 104.

¹⁸⁴ Para quien tenga interés en conocer más detalles sobre el autómata celular y esta enorme variedad de reglas de transición valdrá la pena visitar <http://www.fourmilab.ch/cellab/manual/rules.html>. Además de una explicación clara y concisa, en este sitio hay también aplicaciones interactivas, así como versiones del autómata para descargar, lo cual permite experimentar con el mismo y comprobar en la práctica sus diversos aspectos teóricos. Asimismo pueden encontrarse en la red numerosos recursos, simplemente introduciendo palabras clave como “cellular automata”, “game of life”, etc.). Igualmente recomendable es la exposición de Sigmund en *Games of Life: Explorations in Ecology, Evolution and Behavior*.

algún modo proporcional al éxito instrumental de la misma en el contexto de ciertos juegos. Ciertamente se podrían ensayar reglas que no diesen cuenta de estos procesos maximizadores; cabría concebir criterios que vinculasen la frecuencia relativa y la suma de pagos de manera *inversamente* proporcional. Sin embargo es evidente que tales reglas de transición resultarían ajenas al modelo dinámico evolutivo que estamos adoptando, en el cual el rendimiento *adaptativo* es, por definición, una expresión de la difusión que presenta una estrategia dentro de la población considerada¹⁸⁵.

Detallar cómo operan estos cálculos resultará mucho más simple y claro si antes establecemos ciertas convenciones terminológicas relativas a otros elementos que intervienen en el autómata celular.

3.2.1 Definiciones de términos relativos al autómata celular

Llamamos *mundo* al conjunto completo de celdas dispuestas ortogonalmente. Cada celda, por su parte, representa un agente. Pero a diferencia de otras simulaciones, en *Bichos* existe la posibilidad de que una celda no esté ocupada por ningún agente¹⁸⁶. La *generación* es de algún modo la unidad temporal del juego: una generación queda definida por *a*) un estado del mundo, es decir, una cierta configuración del mapa o retículo, poblado de un modo determinado por estrategias¹⁸⁷, así como *b*) *los procesos que se suceden en él* hasta determinar el siguiente estado del retículo ortogonal (que podría, como una posibilidad más, permanecer inmodificado de una generación a otra). El estado del mundo (*a*) en cada generación, pues, queda configurado en función de la generación previa: su estado anterior (*a*) y las interacciones entre los jugadores (*b*). Esta es seguramente la diferencia más significativa respecto del autómata celular clásico. En éste, el nuevo estado de una celda (vivo o muerto) viene dado directamente por el estado de las celdas que le rodean; cuando inscribimos el autómata celular en el marco de la teoría de juegos, el estado de una celda depende los pagos totales que hayan obtenido sus vecinas, lo cual, a su vez, será el resultado de diversas interacciones. Además, el estado de una celda no es ya “vivo” o “muerto”, sino que consiste en la presencia de una cierta estrategia (en *Bichos* potencialmente infinitas) en dicha celda¹⁸⁸.

¹⁸⁵ Este modo de considerar las reglas de transición es totalmente compatible con el hecho paradójico que se aprecia en el DP. Durante el proceso *previo* a la aplicación de la regla de transición (esto es, la propia interacción en juegos) bien puede ocurrir que el “propósito” de maximizar el rendimiento adaptativo conduzca a los jugadores a resultados subóptimos.

¹⁸⁶ Aunque llegado el caso puede ser un rasgo interesante, no es habitual, y no lo consideraremos en ninguna de los casos concretos que veremos en el próximo capítulo.

¹⁸⁷ Ya habíamos adelantado en la introducción, pero conviene reiterar una vez más, que el término “estrategia” no posee aquí su sentido tradicional, como opción a escoger, sino como regla que conduce a dicha elección entre alternativas.

¹⁸⁸ Por tanto, si queremos expresarlo técnicamente, diremos que *Bichos* no es un autómata binario. Otros modelos que aplicasen conceptos de TJE podrían serlo. Pensemos por ejemplo en un mundo donde los agentes (cada celda) sólo pueden adoptar dos estrategias: cooperar siempre o defraudar siempre.

El *conjunto* de interacciones entre un par cualquiera de agentes en una generación llevará el nombre de *partida*. Dichas interacciones serán por tanto las *jugadas* o *movimientos* de la partida¹⁸⁹. En los torneos de Axelrod el número de veces (iteraciones) que un par de jugadores podían enfrentarse en un DP estaba en torno a 600. Debido a su mayor complejidad, *Bichos* requiere muchos recursos del ordenador para calcular ciertos procesos adicionales que no están presentes en modelos más simples. Por ello, el número máximo de jugadas que puede llegar a tener una partida queda limitado a 10¹⁹⁰. Estaremos hablando de *iteración*, según el uso habitual del término en teoría de juegos, cuando en cada generación un par de individuos dado lleva a cabo una partida con más de una jugada.

El grupo de celdas que rodean a un cierto jugador que estemos considerando (A) será su *vecindario* (vecindario de A). Estas celdas estarán ocupadas por otros jugadores, que serán los vecinos de A. El jugador A interactuará un cierto número de veces (jugadas) en un juego determinado (el DP, por ejemplo) y posteriormente, concluidas todas las partidas de una generación, A observará sus propios resultados y los obtenidos por sus vecinos: si alguno de sus vecinos ha sido más exitoso que él, A copiará o heredará la estrategia que ha mostrado ser más eficaz que la empleada hasta el momento¹⁹¹. Evidentemente el jugador que ahora estamos considerando, A, será a su vez uno de los vecinos que conforman el vecindario de otros jugadores (B, C, D, ...) que le rodean. Más arriba Hayes había mencionado los dos tipos de vecindario más conocidos: el de von Neumann, que consta de 4 vecinos, y el de Moore, compuesto por 8. En *Bichos* se pueden seleccionar diversos vecindarios, que cuentan hasta con un total de 24 vecinos (este vecindario de 24 jugadores es conocido como “Moore extendido”, y lo incluye también Skyrms en sus simulaciones de *Stag Hunt*)¹⁹².

Por tanto, en una generación cada agente puede jugar entre 1 y 24 *partidas*, es decir, puede tener entre 1 y 24 vecinos en condiciones de jugar¹⁹³, y con cada uno de ellos puede enfrentarse entre 1 y 10 veces (*jugadas*). En total, pues, podría efectuar hasta 240 jugadas o movimientos.

¹⁸⁹ Usaré indistintamente ambas palabras. En español es más natural hablar de “jugadas” de una partida, pero la mayor parte de la literatura (en inglés) lo denomina “moves”. Para ser totalmente riguroso habría que decir que una jugada comprende a su vez dos movimientos, a saber, las acciones efectivas de cada uno de los dos jugadores. Esta distinción se vuelve relevante al considerar juegos donde los movimientos son sucesivos, y no simultáneos. El juego del Ultimátum, que abordaremos en la sección 4.5, es un juego sucesivo.

¹⁹⁰ Sin embargo, tendremos ocasión de ver que incluso con muchas menos iteraciones los resultados obtenidos con mi simulación confirman las conclusiones a las que ya llegara Axelrod.

¹⁹¹ El modo preciso en que ocurre este proceso se encuentra explicado en el epígrafe 3.3, dedicado a las reglas de transición.

¹⁹² En *Bichos* he incluido también una serie adicional de vecindarios compuestos por 12 o 16 jugadores (además del jugador central) que por lo que sé son totalmente desconocidos, quizá porque no aportan diferencias significativas en los modelos espaciales. En cualquier caso, la constatación de que no conducen a resultados inesperados sólo es posible experimentando con ellos, tal como he hecho en las simulaciones del capítulo 4.

¹⁹³ Si contamos con la posibilidad, anteriormente señalada, de que una celda no esté ocupada por ninguna estrategia, podría ocurrir que un jugador estuviese completamente aislado y no interactuase con nadie.

Es importante notar que a efectos de crear un sistema de reputaciones, se produce un efecto similar al de un juego iterado incluso cuando un jugador interactúa *una sola vez* con cada vecino, supuesto que el número de vecinos sea mayor que 1 y que éstos estén programados para observar las partidas de terceros. En este sentido, y antes de proseguir con la noción de vecindario, es preciso hacer un apunte acerca de esta característica propia de *Bichos*, que no se encuentra a menudo en modelos de este tipo. En el transcurso de una generación los individuos pueden tener memoria de lo que ha ocurrido en jugadas previas, ya sean de sus propias partidas o de partidas jugadas por otros. Y esta memoria puede ser más o menos amplia: con capacidad para “recordar” o “atender a” entre 1 y 15 de las jugadas anteriores (los detalles sobre este punto se encuentran en el epígrafe 4 del Apéndice A). Sin embargo, al pasar a la siguiente generación esta memoria desaparece: los individuos son otros —son nuevos, digamos así— ya empleen o no la misma estrategia que usaron sus antecesores. Igualmente podemos interpretar que al cabo de una generación los individuos continúan siendo los mismos, cambiando su disposición pero, además, olvidando o ignorando todo lo ocurrido hasta entonces en sus interacciones con otros jugadores; pero no está claro qué aspecto de la realidad podríamos estar simulando con esta suposición.

A menos que indique lo contrario, en lo que sigue adoptaré siempre la primera interpretación, de manera que una generación estará también delimitando lo que podríamos llamar la “identidad personal” de estos agentes artificiales¹⁹⁴.

3.2.2 Puntualizaciones sobre la noción de vecindario

Prosiguiendo la descripción de los vecindarios, en *Bichos* los vecinos pueden encontrarse en posiciones fijas (en principio denominadas según los puntos cardinales: Norte, Noreste, Este, Sudeste, etc.), pero también —y esto es una novedad— pueden estar distribuidos al azar en todo el mundo, es decir, que desaparece la noción de vecindario propiamente dicha, tal como se considera en el autómata celular clásico. Con esto se elimina también la espacialidad de las interacciones, pareciéndose algo más al modelo de liga propuesto por Axelrod, aunque en nuestro caso no hay necesariamente un enfrentamiento de *todos* los agentes entre sí, sino sólo de una porción que, dependiendo del tamaño del mundo, será más o menos representativa de esa totalidad. Una tercera posibilidad es que cada jugador se enfrente a un cierto número de vecinos situados en posiciones fijas, y a otro número de rivales distribuidos aleatoriamente.

¹⁹⁴ Ciertos modelos han implementado la posibilidad de que la actualización o cambio de estrategia no sea simultánea para todos los jugadores del mundo; es decir, que una generación no tenga la misma “duración” para todos los jugadores. Es éste un supuesto más realista, incorporado en un modelo de N. Siebrasse bajo el nombre de “tiempo continuo” (<http://law.unb.ca/Siebrasse/GameTheory.htm>). En la aplicación *Bichos*, sin embargo, el tiempo sería *discreto*, manteniéndose el esquema de las simulaciones evolutivas clásicas.

Es conveniente tener en cuenta que cuando las interacciones se determinan al azar, las asignaciones de los rivales varían de generación a generación, pero permanecen estables dentro de una misma generación. Es importante destacar este punto por la siguiente razón. Los estudios de Axelrod y otros autores han constatado suficientemente que las relaciones de vecindad favorecen notablemente las conductas cooperativas. Sin embargo esto no se debe a que la proximidad de los jugadores garantiza el encuentro reiterado entre ellos, lo cual les permite identificarse mutuamente y reaccionar consecuentemente en función de jugadas previas. Si esa fuese la razón, el emparejamiento aleatorio produciría los mismos resultados, pues aunque el otro cooperador esté “lejos”, se pueden reconocer igual. De hecho, los resultados difieren significativamente, tal como las simulaciones con *Bichos* nos permitirán concluir: la repetición de interacciones entre un par de jugadores, a lo largo de una generación, ocurre *también* cuando los jugadores se emparejan aleatoriamente, sin que se aprecie la evolución de estrategias cooperativas. La razón, pues, debe ser otra. El aspecto de las relaciones espaciales que sí fortalece las conductas cooperativas es el hecho de que los *descendientes* que heredan o copian disposiciones cooperativas guardan entre sí las mismas posiciones relativas que ocupaban sus *antepasados*. Éste es el sentido —*intergeneracional* antes que intrageneracional— en que las localizaciones fijas fomentan la evolución de la cooperación; tanto más si recordamos la observación previa, esto es, que de una generación a otra los jugadores no conservan una memoria de lo que ocurrió anteriormente. Estas conclusiones quedarán suficientemente justificadas en el capítulo 4, a la vista de diversos resultados extraídos de las simulaciones.

Puede ocurrir que la distribución aleatoria enfrente a un mismo par de jugadores más de una vez, con lo cual las iteraciones de su partida se multiplicarán tantas veces como se repita su emparejamiento, pudiendo así superar el número de 10, que era en principio el número máximo de iteraciones. Supongamos el siguiente vecindario (del jugador 5), donde se indican con números los jugadores fijos, y con signos de interrogación los que serán seleccionados al azar:

Figura 1

?	980	?
4	5	6
?	30	?

Y ahora consideremos que el azar ha determinado —no importa aquí cuán improbable sea— que los vecinos del jugador 5 en las esquinas sean los siguientes agentes (subrayados):

Figura 2

<u>4</u>	980	<u>60</u>
4	5	6
815	30	<u>4</u>

Si las iteraciones de cada partida fuesen tres, pongamos por caso, entonces el jugador 5 se habría enfrentado en vecindarios estables (en negro) dicho número de veces (3) con el jugador 4. Pero aquí la suerte ha propiciado que el jugador 4 aparezca dos veces más en la lista de vecinos del jugador 5 (en rojo), con lo cual el total de sus interacciones ascenderá a 9. Obsérvese que no importa que el jugador 4 sea de por sí un vecino “físico” del jugador 5. En la distribución al azar vuelve a ser dos veces más su “vecino virtual” —digámoslo así— sin que las casillas noroeste y sudeste sean las que realmente ocupa el jugador 4. Por lo demás, los jugadores 60 y 815 se encuentran físicamente mucho más lejos, mientras que el jugador 980, pese a su número, se encuentra en este ejemplo inmediatamente al norte del jugador 5, ya que los bordes superior e inferior, así como izquierdo y derecho del mapa, se tocan entre sí, haciendo que la superficie del mundo sea continua.

Estas explicaciones son necesarias para comprender cómo se desarrolla exactamente la dinámica evolutiva en *Bichos* y, por contraste o similitud, cómo funciona en otros modelos. Cuanto más compleja es la simulación tanto más imprevisibles son los patrones emergentes, incrementándose también la sensibilidad de los resultados a las pequeñas variaciones en las condiciones iniciales o en los entornos donde tienen lugar las interacciones. Por ello la exposición prolija del modo en que se agrupan los jugadores es imprescindible para que el modelo pueda ser suficientemente contrastado, sin dejar en la sombra elementos que podrían estar influyendo inadvertidamente en los resultados.

Aclarados estos conceptos relativos a la estructura espacial y temporal del modelo (vecindarios y generaciones) junto con las otras nociones relacionadas (partida, jugada, iteración), ahora es el momento de abordar otro punto clave del autómata celular, las *reglas de transición*.

3.3 Reglas de transición

3.3.1 Analogías entre reglas de transición y criterios de elección racional

Tomado el autómata celular en su aspecto más general, las reglas de transición son criterios para calcular el futuro estado de una célula a partir de la configuración actual de su entorno. Al aplicarse a todas las celdas del mapa, la regla de transición determina la composición del mundo en función de su estado en la generación previa. En nuestro caso particular —una simulación evolutiva— la célula es un individuo que ha de adoptar una estrategia entre las disponibles en su vecindario (incluyendo la propia), y por ello el único factor relevante del entorno es la suma total de pagos que él y sus vecinos han obtenido en el transcurso de los juegos. Que una estrategia se encuentre entre las disponibles para ser copiadas por un jugador A quiere decir que ha sido previamente utilizada por el propio A o por alguno de los sus vecinos, con los cuales A ha jugado y a quienes A puede observar. La última versión de mi simulación cuenta con cuatro reglas de transición, que paso a detallar.

1) Replicator Dynamics. Esta regla toma el nombre que Schuster y Sigmund¹⁹⁵ dieron a la ecuación ideada por Maynard Smith para determinar las frecuencias relativas de diferentes estrategias presentes en una población, en función del éxito obtenido por cada estrategia en la generación previa. Formalmente se puede expresar como¹⁹⁶:

$$p' = p \frac{W(H)}{\bar{W}}$$

Donde p' es la frecuencia de una cierta estrategia en la generación que estamos calculando, y p es la frecuencia de dicha estrategia en la generación *previa*. Por su parte, $W(H)$ es el rendimiento medio de la estrategia en la generación anterior, mientras que \bar{W} es el rendimiento promedio de *todas* las estrategias, también en la generación anterior. La idea puede expresarse de manera más intuitiva diciendo simplemente que el número de individuos p' usando la estrategia H será en la próxima generación proporcional al éxito que H ha obtenido en relación con el éxito medio de todas las estrategias presentes en la población. En lo que sigue nos valdremos de los nombres que da Skyrms a estas variables que intervienen en la ecuación:

If the payoffs to a strategy are measured in terms of Darwinian fitness —as average number of offspring— then the game carries with its own dynamics. From the proportion of the population in one generation playing various strategies and the payoffs for one strategy played against another, we get the population proportions for the next generation.

¹⁹⁵ Cfr. Schuster y Sigmund, 1983

¹⁹⁶ Maynard Smith, 1977, p. 13

If $U(A)$ is the average fitness of strategy A, and U is the average fitness of the population, then the crucial quantity to consider is their ratio, $U(A) / U$. The population proportion of strategy A in the next generation is just the population proportion in the current population multiplied by this ratio. If A has greater average fitness than the population, then the proportion of the population using strategy A increases. If the average fitness of A is less than that of the population, then the proportion of the population using A decreases.¹⁹⁷

Por ejemplo, supongamos una población de 1000 individuos, en la que 250 usan la estrategia A, 250 la estrategia B, 250 la estrategia C, y los restantes 250 la estrategia D. Al cabo de una generación, se suman los pagos obtenidos por cada jugador, y se calcula con ello el rendimiento global de cada una de las cuatro estrategias. Imaginemos el siguiente resultado, donde el rendimiento promedio de la población, U , sería 100¹⁹⁸:

Tabla 4

<i>Estrategia</i>	<i>U(x) "puntos"</i>	<i>Ratio U(x) / U</i>	<i>Población actual de individuos usando x</i>	<i>Próxima población</i>
A	100	1	250	$250 \cdot 1 = 250$
B	150	1,5	250	$250 \cdot 1,5 = 375$
C	25	0,25	250	$250 \cdot 0,25 = 63$
D	125	1,25	250	$250 \cdot 1,25 = 312$

En la última columna, pues, tenemos la cantidad de individuos que emplearán las diversas estrategias en la siguiente generación.

Esta regla de transición es la más habitual en simulaciones evolutivas, incluso en aquellas que no responden al esquema espacial del autómata celular, y que por tanto hacen impropio hablar de "regla de transición" en el sentido originario que tiene la expresión (determinar el estado de una célula según el estado de su vecindario). Recordemos por tanto que replicator dynamics es sólo una regla de transición en el contexto del autómata celular, y que en sí misma es una ecuación para calcular el cambio en la frecuencia relativa de las estrategias en el paso de una generación a otra. Sin embargo, no por ser la regla más frecuente es la más evidente¹⁹⁹.

¹⁹⁷ Skyrms, 1996, pp. 51 – 52.

¹⁹⁸ $[U(A) + U(B) + U(C) + U(D)] / 4 = [100 + 150 + 25 + 125] / 4 = 100$

¹⁹⁹ Cabe preguntarse por qué ha de ser exactamente $U(x)/U$ la tasa de reproducción de las diferentes estrategias, y no, por ejemplo, $U(x)^n/U^n$.

2) MaxiMax. Quizá la regla más obvia consista simplemente en observar qué individuo, entre aquellos que nos rodean²⁰⁰ —e incluyéndonos a nosotros mismos—, ha obtenido una puntuación más alta, limitándonos a adoptar la estrategia que él haya empleado. Tal es el criterio que siguen, por ejemplo, los jugadores del modelo espacial de Axelrod²⁰¹.

Este primer criterio, pues, tiene en cuenta el éxito de las estrategias tomando aisladamente los jugadores que las han empleado. Podemos denominar a esta regla *MaxiMax*, por la analogía que guarda con el correspondiente procedimiento de decisión que en teoría de juegos lleva el mismo nombre, tal como enseguida paso a explicar²⁰². Estamos teniendo en cuenta que una cierta estrategia, empleada por *uno* de nuestros vecinos ha sido *en ese caso* la más exitosa, *pero no estamos atendiendo a si esa misma estrategia, empleada por otros jugadores, ha o habría proporcionado rendimientos más bajos*. En teoría de juegos se suelen representar mediante una tabla como la siguiente situaciones en la que se ha de escoger entre ciertas opciones (filas) que en función de posibles acontecimientos (columnas) dan lugar a unos resultados, mejores o peores (representados por las cifras) para el agente que decide.

Tabla 5

	Acontecimiento X	Acontecimiento Y	Acontecimiento Z
Opción A	10 \$	50 \$	100 \$
Opción B	60 \$	60 \$	60 \$

La regla *MaxiMax* escogería la opción A. Para ello se consideran primero los valores *máximos* que ofrecen, como posibilidad, las dos opciones: en este caso 100 y 60, respectivamente. Entonces se escoge entre estos dos el valor *máximo*, que es 100, proporcionado por la opción A. La regla *MaxiMax* no cuenta con las probabilidades de los acontecimientos, o incluso si no se conocen las probabilidades de éstos, tampoco asigna una probabilidad subjetiva a cada uno (en

²⁰⁰ En sus variantes más sencillas y manejables, los agentes artificiales “miran” los rendimientos de aquellos con quienes han interactuado. Pero no tiene por qué ser siempre así: los jugadores pueden atender también a vecinos con los que no han jugado y/o pasar por alto a otros a quienes sí se han enfrentado. En el autómatas celular se distinguen, pues, el llamado “vecindario de interacción” del “vecindario de imitación”. Véase por ejemplo Skyrms (2004, pp. 42 – 43) o el software de Siebrasse en

<http://law.unb.ca/Siebrasse/GameTheory.htm#SpatialGames>

²⁰¹ Cfr. Axelrod, 1986, p. 151.

Nuevamente hay que insistir en el sentido metafórico de expresiones como *adoptar o imitar*, las cuales sólo podrían tomarse literalmente en el caso de que estuviésemos representando con el modelo una situación en la que, efectivamente, los agentes obrasen conscientemente de este modo. La suma de puntos será en la mayoría de las interpretaciones lo que Skyrms (1996, p. 51) denomina *Darwinian fitness*, es decir, un índice que representaría el grado de éxito de un cierto individuo, cualesquiera sean los factores materiales que se desee introducir en el esquema formal del DP (alimento, territorio, oportunidades de aparearse, etc.), los cuales en último término redundarían en una probabilidad más alta de reproducirse y perpetuar sus genes.

²⁰² Véase por ejemplo Resnik (1987, pp. 32 – 33).

nuestro ejemplo podría ser 0,33 para cada suceso, si decidiésemos adoptar el principio de “razón insuficiente”²⁰³). Es por consiguiente un criterio optimista, que no da la debida importancia a la posibilidad, en nuestro ejemplo, de que ocurra el acontecimiento X, en cuyo caso la opción A sólo nos proporcionaría 10\$.²⁰⁴

Un ejemplo de tabla análoga a esta representación que en teoría de juegos se hace para las elecciones de los agentes, tomando ahora las estrategias empleadas por nuestros vecinos y los resultados que hemos obtenido cada uno, podría ser el siguiente:

Tabla 6

	“Uno mismo”	Norte	Sur	Este	Oeste
Estrategia A	?	45	100	?	?
Estrategia B	?	?	?	70	70
Estrategia C	50	?	?	?	?

Los valores *máximos* que ha obtenido cada estrategia, respectivamente, han sido 100 (estrategia A, empleada por el jugador Sur), 70 (estrategia B, usada por los jugadores Este y Oeste) y 50 (estrategia C, usada por el propio jugador que “delibera” qué estrategia escogerá para la próxima generación²⁰⁵). Aplicando la regla *MaxiMax*, entonces, se atendería el mayor de estos resultados, es decir, 100, y por lo tanto a la estrategia con la cual se ha obtenido (A), *sin importar que esta misma estrategia, usada por el jugador Norte, haya obtenido el peor resultado conocido* (45). Esto es lo que hace, pues, la regla de transición *MaxiMax*, cuando selecciona cuál será la estrategia que un cierto agente usará en la próxima generación.

3) MaxiMin. Si el criterio *MaxiMax* resultaba demasiado optimista, en el criterio MaxiMin tenemos la contrapartida pesimista. En teoría de juegos, este criterio considera el peor resultado posible (*mínimo*) que podría resultar de cada decisión, y escoge la opción que *maximice* ese resultado mínimo²⁰⁶. Si volvemos a la tabla 5, un agente que emplease este criterio escogería ahora la opción B, pues el mínimo que puede esperar con B es 60\$, mientras que con la opción A el mínimo sería sólo 10\$. Del mismo modo, observando ahora la tabla 6, un agente que tuviese que medir el éxito de las estrategias disponibles según la regla MaxiMin, copiaría la estrategia B (70 puntos), ignorando los 100 puntos obtenidos por la estrategia A cuando el jugador Sur se ha valido de ella.

²⁰³ Según este principio formulado por Laplace, a falta de cualquier información acerca de la probabilidad de acontecimientos mutuamente excluyentes, se asigna a cada uno la misma probabilidad de que ocurra. También conocido como principio de indiferencia, afirma que si las n posibilidades son indistinguibles excepto por sus nombres, entonces se asigna a cada posibilidad una probabilidad igual a $1/n$. (Cfr. Resnik, 1987, pp. 35 – 37).

²⁰⁴ Considerada desde la teoría de la utilidad esperada —de la que nos ocuparemos enseguida— se trataría de un criterio de elección *irracional*, pues la utilidad esperada de la opción B (= 60) es mayor que la de la opción A (= 53,3).

²⁰⁵ También se puede expresarlo como: qué estrategia le “enseñará a su hijo”. Recordemos que las celdas pierden en el paso de una generación a otra la memoria de interacciones pasadas (cfr. *supra* 3.2.1).

²⁰⁶ Cfr. Resnik, 1987, pp. 26 – 27

Al igual que la regla *MaxiMax*, la regla *MaxiMin* no tiene en cuenta las probabilidades de los posibles sucesos. La irracionalidad que supone no contar con las probabilidades de los acontecimientos —aunque sean tan sólo subjetivas— es lo que Harsanyi intenta mostrar en su crítica a Rawls acerca de qué tipo de sociedad escoger en la llamada “posición original”²⁰⁷. Aunque este debate no toca directamente a nuestro tema, el argumento es igualmente aplicable a nuestro caso:

Conceptually, the basic trouble with the maximin principle is that violates an important continuity requirement: It is extremely irrational to make your behaviour wholly dependent on some highly unlikely unfavorable contingencies *regardless of how little probability you are willing to assign them*.²⁰⁸

Por decirlo con un ejemplo aún más claro del propio Harsanyi²⁰⁹, si siguiésemos este principio no deberíamos salir de casa, en prevención de posibles desastres como ser atropellados por un coche, o que nos caiga un piano en la cabeza. Como alternativa, Harsanyi propone el principio de “utilidad promedio”, equivalente a la maximización de la utilidad esperada en teoría de la decisión²¹⁰. De este principio toma el nombre la última de las reglas de transición que analizaremos.

4) Utilidad esperada. Probablemente sea ésta la regla de transición más equilibrada, por tener su correlato en el criterio de decisión que le da nombre. Esta idea de maximizar la utilidad *esperada* es ampliamente aceptada en economía, especialmente desde la formalización que le proporcionó Savage en *Foundations of Statistics* (sus antecedentes pueden encontrarse en las obras de Ramsey, “Truth and probability” y “Further considerations”²¹¹, y en von Neumann y Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behaviour*). Sin embargo, la noción de utilidad esperada ha sido también objeto de crítica, especialmente en su vertiente descriptiva, pues numerosos experimentos y estudios realizados con agentes reales muestran que los seres humanos a menudo no tomamos decisiones siguiendo este principio²¹².

²⁰⁷ Cfr. Rawls, 1999, pp. 178 – 204. Básicamente, la idea de Rawls es que una sociedad A, es preferible a otra, B, si los menos privilegiados en A se encuentran de todos modos en una mejor posición que los menos privilegiados en B.

²⁰⁸ Harsanyi, 1976b, p. 40

²⁰⁹ Harsanyi, 1976b, p. 40

²¹⁰ Harsanyi, 1976b, pp. 45 – 46. Dicho sea de paso, en el marco de la discusión con Rawls en torno a la elección de un principio de justicia, el criterio de la utilidad promedio presenta también sus inconvenientes. Contradiría nuestras intuiciones morales, por ejemplo, aceptar una sociedad en la que hubiese algunos esclavos, simplemente porque en ésta la mayoría de los individuos (libres) viven tan bien, que la utilidad promedio es superior a otra hipotética sociedad, donde no hay esclavos y la utilidad promedio es inferior.

²¹¹ Cfr. Ramsey, 1954

²¹² En Schoemaker (1982) se encuentra una exposición muy bien ordenada de los matices que el concepto de “utilidad esperada” adopta en diversos autores, así como sus limitaciones, especialmente a la luz de experiencias realizadas tanto en laboratorios como en estudios de mercado.

Sin embargo, aquí no se trata de discutir la mayor o menor validez de este principio para prescribir o describir la conducta humana. El objetivo ahora es presentarlo como una de las posibles reglas de transición que determinan el paso de una generación a otra en el autómata celular. Así, el procedimiento consiste en considerar no la estrategia que en alguna instancia individual (agente) ha sido la más exitosa, sino aquella que ha obtenido el mayor rendimiento *promedio*, computados todos los agentes que la han empleado entre aquellos observados por el individuo que tiene que copiar o “heredar”.

Sin embargo, en la teoría de la decisión la utilidad esperada *no es un promedio* de utilidades, sino que se calcula contando la utilidad de cada resultado posible, y ponderando cada una de estas utilidades de acuerdo con la probabilidad de que ocurran los acontecimientos a los que se asocian dichos niveles de utilidad (aunque tan sólo sea una probabilidad subjetiva, a falta de probabilidades objetivas). Pero en el marco de la simulación sí podemos considerarlo como el promedio de los rendimientos obtenidos por las diversas estrategias. Ello se debe a la irrelevancia de la frecuencia relativa de cada una —lo cual equivaldría a la probabilidad—, precisamente porque la adopción de una estrategia es algo que decidiremos, y no algo que ocurrirá. Por tanto, a la hora de trazar la analogía entre esta regla de transición y su correspondiente principio de decisión, podemos simplemente considerar que las diferentes estrategias que intervienen en la deliberación son equiprobables²¹³.

Si atendemos nuevamente a la tabla 5, la utilidad esperada de la opción A es:

$$10 \cdot 1/3 + 50 \cdot 1/3 + 100 \cdot 1/3 = 53,28$$

mientras que la utilidad esperada de la opción B es:

$$60 \cdot 1/3 + 60 \cdot 1/3 + 60 \cdot 1/3 = 60$$

Y ahora podemos aplicar un cálculo semejante sobre los datos contenidos en la tabla 6, si bien aquí nos son totalmente desconocidos ciertos resultados, a saber, el rendimiento que *habrían* obtenido ciertas estrategias de haber sido usadas por otros individuos que de hecho no las emplearon. Por ejemplo, no sabemos qué suma de pagos habría obtenido el agente Norte de

²¹³ Ya habíamos indicado más arriba que esta asignación de probabilidades idénticas a una serie de acontecimientos excluyentes entre sí, responde al llamado “principio de razón insuficiente”. Queda por ensayar una regla de transición aun más refinada, que sí daría cabida a ponderaciones *diferentes* —análogas a acontecimientos *no* equiprobables— según el número de vecinos que hayan utilizado una cierta estrategia. Si se trata de calcular qué disposición es la más eficaz en un contexto evolutivo, la *cantidad* de agentes que emplean una cierta estrategia sí sería un indicio de su rendimiento.

haber usado la estrategia B o C. Aun así, podemos calcular la media de rendimientos obtenidos por una cierta estrategia, contando todos los casos (agentes) que *sí* la utilizaron. De este modo la “utilidad esperada” —por usar este término análogamente— de cada una de las tres estrategias, serían las siguientes:

$$\begin{array}{ll} \text{Estrategia A:} & 45 \cdot 1/2 + 100 \cdot 1/2 = 72,5 \\ \text{Estrategia B:} & 70 \cdot 1/2 + 70 \cdot 1/2 = 70 \\ \text{Estrategia C:} & 50 \cdot 1 = 50 \end{array}$$

Aplicada a la dinámica del autómatas celular, esta regla de transición, que podríamos denominar “utilidad esperada” o “mejor promedio”, escogería por tanto la estrategia A para la próxima generación.

3.3.2 Limitaciones de Replicator dynamics para simular la evolución cultural: reproducción *versus* imitación

Éstas son, pues, las cuatro reglas de transición que en nuestra simulación pueden determinar el cambio de un estado a otro entre dos generaciones sucesivas. El estado, ya lo hemos indicado, es el conjunto de las estrategias adoptadas por cada uno de los agentes que componen el mundo.

Antes de terminar con este apartado, quisiera hacer un par de consideraciones.

a) Excepto la regla replicator dynamics, las otras tres hacen referencia al modo en que un agente racional podría cambiar (o conservar) la estrategia que ha de emplear, o la que le enseñaría a sus descendientes, o la que éstos copiarían del entorno. Replicator dynamics, sin embargo, difícilmente puede representar un tipo de elección “racional”, pues *un* agente no puede en principio elegir emplear simultáneamente diversas estrategias en diferentes proporciones. Nos falta trazar un equivalente de lo que sería esta regla entendida como un criterio de elección racional. Podría entenderse que un agente escoge al azar entre ciertas estrategias, valiéndose de una lotería en la que cada opción tiene una cantidad de “números” proporcionales al éxito que ha obtenido. Pronto veremos que de hecho es así cómo funciona el programa cuando esta regla es seleccionada²¹⁴.

b) Aunque Skyrms la considere “the most thoroughly studied model of cultural evolution”²¹⁵, la ecuación Replicator dynamics (y su correspondiente regla) se usan mayormente en modelos de evolución biológica, mientras que las otras tres reglas representan mejor la evolución cultural. Más en concreto, Replicator dynamics “models [...] random encounters in an

²¹⁴ Cfr. *infra* 3.3.3

²¹⁵ Skyrms, 2004, p. 10 (la cursiva es mía).

infinite population”²¹⁶. En cualquier caso, qué tipo de cambio es el que realmente estarían representando estos diferentes criterios, es algo que queda sujeto a la interpretación que se desee darle a la simulación. Los agentes artificiales, en sentido riguroso, no copian nada; por otra parte, tampoco hay una razón por la cual los pagos de un juego, en un modelo biológico, deban expresar única y exclusivamente el número de descendientes.

Lo cierto es que en todos los juegos que analizaremos en el próximo capítulo (DP, Ultimátum, Gallina, Caza del venado y Trust Game) la aparición y estabilidad de las conductas cooperativas o altruistas es mucho más frecuente cuando el paso de una generación a otra se produce de acuerdo con alguna de las últimas tres reglas (2 – 4), las cuales representan mejor lo que sería una deliberación racional. Esta marcada tendencia se observa incluso cuando la transición de una generación a otra sigue el patrón de lo que sería un proceso de reproducción sexual, esto es, ajeno a cualquier imitación “inteligente” de un agente maximizador.

A fin de comprender mejor este punto, conviene explicar ahora cómo se produce exactamente esta herencia o imitación entre los agentes artificiales. Ya hemos indicado que en *Bichos* una estrategia es un conjunto de variables que determinan cómo se efectúan una serie de instrucciones (algoritmo). Estas instrucciones, a su vez, vinculan una serie de datos obtenidos del entorno (las conductas ajenas) con una respuesta (la conducta del agente, A, que estemos considerando).

El apéndice A está dedicado a la exposición prolija de estos parámetros y cómo definen diferentes tipos de disposición. Por el momento será suficiente considerar sólo algunas de estas variables para ilustrar en qué sentido los jugadores de *Bichos* pueden reproducirse sexual o asexualmente.

El primer paso en la serie de instrucciones que llevan al agente artificial (A) a tomar una decisión, es observar el grado de cooperación y equidad que el agente con el que interactúa (B) ha mostrado en sus “acciones” previas. Ahora bien, A puede interesarse por una cierta cantidad n de esas jugadas anteriores de B. El jugador B puede haber participado hasta el momento en 10 interacciones, y sin embargo a A podrían “interesarle” sólo lo ocurrido en sus últimos 5 movimientos²¹⁷. Este número —que en *Bichos* podría ser cualquier otro comprendido entre 1 y 15— se almacena en una variable que denominamos “memoria”, y será copiado en la variable “memoria” de cualquier otro individuo que decida imitar a A.

²¹⁶ Skyrms, 2004, p. 23

²¹⁷ La estrategia Toma y Dada, por ejemplo, sólo se fija en lo que B ha hecho en la jugada inmediatamente anterior.

Otras variables, que llamaremos genéricamente “sensibilidad”, determinan el grado de atención o importancia que una estrategia presta a la cooperación o la equidad mostrada hasta el momento por algún otro jugador. Hay 32 “genes” en total, pero aquí nos bastan estos pocos ejemplos para entender que este conjunto de parámetros —que no son más que posiciones sucesivas en la memoria del ordenador— pueden considerarse el “genoma” de un cierto individuo. La denominación no es arbitraria, ya que cada uno de estas variables o genes puede ser heredada de un individuo a otro al cabo de una generación; y del mismo modo pueden sufrir cambios aleatorios (mutaciones). En sus trabajos más recientes, Axelrod, Skyrms y Danielson estudian las posibilidades de agentes artificiales con “genes”, y además de las mutaciones consideran la recombinación (*crossover*) como fuente de variación. El proceso de recombinación viene a simular lo que en animales y plantas sería la reproducción sexual: al heredar una estrategia, un agente toma genes de dos estrategias diferentes (las dos más exitosas, de acuerdo con alguna de las reglas vistas anteriormente). Obviamente esto es mucho más apropiado como simulación de evolución biológica que cultural: si se quisiese darse una interpretación cultural a este proceso de recombinación, habría que decir que los agentes “copian” rasgos de dos disposiciones diferentes.

El procedimiento mediante el que se simulan estas mezclas de genes es conocido como “algoritmo genético”. Se trata de una técnica empleada en inteligencia artificial, originalmente desarrollada por Holland²¹⁸ y aplicada por Axelrod a las simulaciones que siguieron a sus dos primeros torneos organizados²¹⁹. Según los resultados extraídos de los ensayos de Axelrod, el uso de algoritmos genéticos, además de eliminar cualquier teleología introducida por el programador, favorece el proceso de ensayo y error que permite a la selección natural “experimentar” con una mayor variedad de estrategias hasta encontrar el equilibrio adaptativo.

Por el contrario, si un agente “copia” el genoma completo de *un solo* individuo, esto es mucho más apropiado como simulación de la evolución cultural. Su equivalente biológico sería la reproducción asexual. Hay que tener en cuenta que la recombinación de genes no representa una especie de “sincretismo” donde cada agente toma lo mejor de dos opciones diferentes. Qué genes son tomados del padre, y cuáles de la madre, está determinado aleatoriamente. Por ello, el modelo adecuado de la evolución cultural o el aprendizaje consiste en copiar la totalidad de las variables de un solo individuo. Desde luego los seres humanos somos capaces de tomar lo que consideramos mejor de dos o más conjuntos diferentes, pero un tipo de razonamiento tan inteligente queda fuera del alcance y del propósito de estas simulaciones.

²¹⁸ Cfr. Holland, 1992

²¹⁹ Cfr. Axelrod, 1997, cap. 1

En cualquier caso, que la dinámica evolutiva sea “biológica” o “cultural”²²⁰ tiene poca influencia en el éxito de las conductas, en comparación con el tipo de regla de transición que se emplee, que resulta ser un factor mucho más determinante. En particular, “replicator dynamics” es una regla que dificulta la evolución de la cooperación mucho más que las otras tres reglas, que como decíamos serían un modelo más adecuado de decisión racional. A continuación podemos ver una serie de resultados obtenidos simulando una población de 1000 individuos jugando al DP iterado. Cada agente interactúa con sus 8 vecinos más inmediatos²²¹, 4 veces contra cada uno²²², y se considera el grado de cooperación medio de toda la población a lo largo de 1000 generaciones²²³. Subrayo los resultados correspondientes a la regla Replicator dynamics para destacar el grado de cooperación que genera, inferior al de las otras reglas.

<i>Tipo de reproducción</i>	<i>Regla de transición</i>	<i>Grado medio de cooperación tras 1000 generaciones</i>
Asexual (evolución cultural)	<u>Replicator dynamics</u>	<u>0,22</u>
Asexual	MaxiMax	0,409
Asexual	MaxiMin	0,734
Asexual	Utilidad esperada	0,573
Sexual (evolución biológica)	<u>Replicator dynamics</u>	<u>0,349</u>
Sexual	MaxiMax	0,572
Sexual	MaxiMin	0,836
Sexual	Utilidad esperada	0,581

²²⁰ Una vez más escribo estos términos entre comillas, porque el que sean un modelo de uno u otro tipo de cambio es en las simulaciones una cuestión de interpretación.

²²¹ Recordemos que las interacciones con vecinos favorecen las conductas cooperativas.

²²² Comparando mi simulación con los experimentos relacionados por Axelrod, salta a la vista que en estos últimos el número de iteraciones entre cada par de agentes es mucho mayor. En las competiciones de Axelrod el DP se repetía hasta 200 veces. Sin embargo, como en mi simulación los jugadores pueden escoger diversos grados de cooperación, y no sólo los extremos de cooperación y fraude totales, esto puede verse como una “condensación” de varias jugadas en una. Por ejemplo, si en tres jugadas diferentes del DP un agente ha cooperado una vez y defraudado dos, su nivel medio de cooperación sería 1/3. Ahora bien, este grado de cooperación puede manifestarse también si un jugador “coopera 0,33” en una sola jugada. (El análisis de estos juegos *continuos* lo desarrollo en el capítulo 4.3).

²²³ Este grado medio de cooperación se mide computando cada uno de los movimientos de todos los jugadores en sus interacciones reiteradas, a lo largo de las 1000 generaciones. En total, pues, habrá habido 16 millones de decisiones = 500 . 8 . 4 . 1000. La cooperación se mide como 1, y el fraude como 0. Además, en el modelo que propongo es posible cooperar más o menos, es decir, escoger opciones comprendidas en el continuo 0 – 1 (véase la nota anterior).

3.3.3 Replicator dynamics e interacciones locales

Ya habíamos visto que en *Evolution of Social Contract* Skyrms explicitaba la importancia de desarrollar modelos donde los encuentros entre los miembros de la población no fuesen completamente aleatorios²²⁴. Allí el autor repasaba posibles factores que podrían favorecer la *correlación* de los individuos que interactúan entre sí: proximidad espacial, consanguinidad o simple capacidad de distinguir a ciertos individuos de otros, y asimismo esbozaba un modelo espacial unidimensional (jugadores dispuestos en una fila, no en un “mapa” con filas y columnas)²²⁵. Sin embargo, es en *Stag Hunt* donde Skyrms lleva a cabo y analiza con detalle diversos experimentos con modelos espaciales, subrayando aun más

[...] the importance of spatial structure, location, and local interaction for evolutionary dynamics. [...] If prisoner’s dilemmas are played in a well-mixed large population, the evolutionary dynamics drives cooperation to extinction. But a number of different investigators have shown how interaction with neighbors on one or another spatial structure can allow cooperative strategies to persist in the population. [...] The basic idea is not exactly new. Biologist, notably William Hamilton and John Maynard Smith, have emphasized spatial structure as an important factor in the evolution of cooperation. But recently there has been a flowering of precise models and analyses of evolution driven by local interaction on spatial structures.²²⁶

Skyrms da cuenta de una serie de simulaciones emprendidas por McKenzie y Alexander en el juego de “partir la tarta” (versión simultánea del Ultimátum²²⁷), especificando que “the dynamics is driven by imitation. Individuals imitate the most successful person in the neighborhood”²²⁸. Pero hemos visto que puede haber más formas de imitación. Ésta que menciona Skyrms aquí sería la regla MaxiMax. Además, Skyrms introduce una cuestión de gran importancia a la hora de estudiar modelos especiales:

The bargaining-with-neighbors model [...] differs from the bargaining-with-strangers model in more than one way. Might the difference in behavior [...] be due to the imitate-the-most-successful dynamics, rather than the neighbor effect? To answer this question we ran simulations varying these factors independently.²²⁹

²²⁴ *Cfr. supra*, 3.1.

²²⁵ *Cfr.* Skyrms, 1996, pp. 53 – 59

²²⁶ Skyrms, 2004, pp. 15 – 16

²²⁷ La descripción y análisis de estos dos juegos se hallan en los capítulos 4.4 y 4.5.

²²⁸ Skyrms, 2004, pp. 23 – 24

²²⁹ Skyrms, 2004, p. 25

Tengo que postergar ahora las respuestas que las simulaciones de Skyrms proporcionan a esta pregunta, pero puedo anticipar, atendiendo también a los resultados obtenidos de *Bichos*, que ambos factores son relevantes para la evolución de la cooperación. Dicho así, esta afirmación no arroja mucha luz sobre la cuestión, pero lo cierto es que el peso que puedan tener uno u otro factor varía notablemente en función de muchos otros elementos que van más allá de los modelos de Skyrms, bastante menos complejos que el que propongo en esta investigación. En el próximo capítulo presento los resultados, tanto de las simulaciones de Skyrms como de las mías, atendiendo no sólo al factor de la vecindad entre agentes, sino también al número de agentes que componen el vecindario, el número de iteraciones en cada juego o el tipo de imitación o reproducción (sexual o asexual), entre otros.

El propósito de esta digresión inicial es poner a la vista la relación entre la espacialidad de estos modelos y la aplicación en ellos de la regla Replicator dynamics. Tal será el tema de este epígrafe, pues como explicaré de inmediato surgen ciertas dificultades a la hora de programar la ejecución de este criterio cuando los jugadores se encuentran dispuestos en grupos. Es imprescindible dar cuenta de este problema y de su solución para interpretar correctamente los resultados que recogeremos en el próximo capítulo.

Skyrms investiga dos tipos de regla: “imitate the most successful neighbor”, y otra que “tempers the all-or-nothing character of imitate-the-best: an individual imitates one of the *strategies* in its neighborhood that is more successful than it [...] with *relative probability proportional* to their success in the neighborhood. This is a move in the direction of the replicator dynamics.”²³⁰ Vemos por tanto que no se trata de imitar la mejor estrategia como lo hace la regla que habíamos bautizado “utilidad esperada” o “promedio”, sino como la regla que precisamente habíamos denominado “replicator dynamics”. Más que “un paso hacia” el modelo de “replicator dynamics”, me atrevería a decir que es exactamente el mismo proceso. Lo que anteriormente habíamos considerado poco racional, esto es, imitar *con cierta probabilidad*, Skyrms no parece considerarlo un problema. No tiene por qué serlo si lo entendemos como evolución biológica.

En principio Maynard Smith había pensado la ecuación “replicator dynamics” para dar cuenta de la evolución en poblaciones finitas, pero consideradas globalmente. Sin embargo nosotros tendremos que recurrir a un mecanismo que se vale de loterías para implementar esta regla en un mundo compartimentado en regiones.

²³⁰ Skyrms, 2004, pp. 25 – 26 (la cursiva es mía).

Según acabamos de ver, Skyrms emplea el mismo procedimiento, aunque no considera que equivalga totalmente a “replicator dynamics”. Este recurso al azar viene obligado por el hecho de que, considerando pequeños vecindarios en lugar de la población completa, las proporciones en que cada estrategia “se reproduce” nunca pueden estar bien representadas. Por ejemplo, en un vecindario de 9 agentes (Moore) una estrategia empleada por un solo agente, que obtuviese al cabo de una generación un rendimiento 1.5 veces mayor que el rendimiento medio, debería dar lugar a 1.5 individuos que utilizasen esa estrategia en dicho vecindario. Es evidente que un individuo deberá ser una entidad completa, con lo cual no hay lugar para este tipo de fraccionamientos.

En el siguiente ejemplo muestro cómo calcular el próximo estado (la próxima estrategia) *del agente que ocupa el cuadrado central*, en función de los otros resultados de su entorno. Los correspondientes estados que en la próxima generación adoptarán *los demás agentes* —es decir, aquellos que en este gráfico rodean la casilla central— dependerán, a su vez, de las puntuaciones obtenidas por sus demás vecinos, que según puede verse no aparecen todos en el siguiente esquema. Las letras A, B, C y D indican tipos de estrategias (cada una con un color diferente, para identificarlas mejor). Los números representan la suma total de pagos obtenida por un cierto jugador. Así, por ejemplo, el jugador situado en la esquina superior izquierda ha conseguido 12 puntos utilizando la estrategia A.

Figura 3

A = 12	B = 15	B = 6
C = 3	A = 9	C = 10
C = 7	D = 9	A = 14

Siguiendo la dinámica de la replicación que considera Skyrms tenemos, *para este vecindario*, que:

$$U = 9.444$$

(U = Suma total de los pagos del vecindario / número de vecinos, es decir, 85 / 9)

Tabla 7

Estrategia	$U(x)$	Ratio $U(x) / U$	Población actual	Próxima población
A	11.667 (35 / 3)	1.235	3	3.705
B	10.5 (21 / 2)	1.112	2	2.224
C	6.667 (20 / 3)	0.706	3	2.118
D	9 (9 / 1)	0.953	1	0.953

Ya hemos mencionado que una población real no podrá constar de individuos fragmentados (por ejemplo, 3.705 individuos). Sin embargo, estas cantidades representan la porción del vecindario que le corresponde a una determinada estrategia, dado su rendimiento en comparación con el rendimiento promedio de todas las estrategias en conjunto (incluida ella misma). En el programa, lo que hacen esas cantidades es expresar las oportunidades, en una lotería, que tiene una cierta estrategia para ocupar un cuadro del vecindario. En el caso de la estrategia A, por ejemplo, sería $3.705 / 9$ para cada casilla del vecindario “sorteada”²³¹.

Lo que este procedimiento pueda tener de inapropiado o “injusto” —en el sentido de que en casos de “mala suerte” una estrategia con un rendimiento notablemente superior podría no resultar premiada en ninguna de las loterías de su entorno— queda igualmente compensado por el hecho de que a relativa igualdad entre rendimientos también sería desproporcionado que una estrategia que sólo tiene una pequeña superioridad ocupe todo el territorio (como ocurre en la regla MaxiMax) dejando sin ninguna oportunidad a otras apenas inferiores. La idea básica es que, aunque sea mediante una lotería, cada estrategia tiene sus oportunidades en proporción a su rendimiento. Tomando el mundo completo, es decir, todos los vecindarios, por término general se mantienen las proporciones a las que, según Skyrms, conduce la dinámica de la replicación.

En el siguiente capítulo (4.5) presentaré una simulación del juego del Ultimátum pero realizado con esta aproximación estocástica —aplicada localmente a diferentes vecindarios— a lo que sería la auténtica ecuación Replicator dynamics. Los resultados, como podremos ver, coinciden ampliamente con los experimentos que Skyrms realiza con este mismo juego en el marco de una población considerada globalmente.

Que esta aproximación mediante “loterías” es apropiada tiene una prueba mucho más contundente cuando simulamos juegos cuyas soluciones son estrategias mixtas. Es el caso, por ejemplo, del juego “War of Attrition” analizado por Maynard Smith en *Evolution and the Theory of Games*²³². Tengo que postergar hasta el próximo capítulo la exposición de este juego, así como sus resultados en la simulación, pues requiere una explicación previa de: a) el concepto de estrategia mixta, b) cómo una estrategia evolutivamente estable puede ser también una estrategia

²³¹ A fin de acelerar los cálculos, lo que realmente hace el algoritmo implementado es operar directamente con la suma total de pagos de cada estrategia, dividiéndola entre los pagos totales de todas ellas. Por ejemplo, para B: $21 / 85 = 0.247$ (y si multiplicamos 0.247 por 9, obtenemos precisamente 2.224).

²³² Cfr. Maynard Smith, 1977, cap. 3.

mixta, y c) el modo en que los agentes artificiales calculan dichas estrategias mixtas²³³. Por el momento valga decir que la evolución observada *a posteriori* en simulaciones no es sólo aproximada, sino que coincide casi totalmente con los análisis formales obtenidos por Maynard Smith aplicando la ecuación replicator dynamics.

Teóricamente, pues, y tal como lo describe Skyrms, esta proporción en el incremento debería ser precisamente $U(A)/U$. Los resultados de otros juegos, especialmente con agentes mucho más complejos que los considerados por Maynard Smith o Skyrms, no guardan siempre las proporciones predichas por la ecuación, y en las primeras generaciones a partir de un mundo nuevo, ni siquiera aproximadamente. Sin embargo, a largo plazo y con poblaciones grandes, el cálculo mediante loterías sí coincide con el planteamiento analítico (*a priori*) de Replicator dynamics.

En rigor, la única forma de decidir cuál es realmente la estrategia que en una cierta generación ha obtenido mejores resultados, sería atender al promedio de puntos que han obtenido cada uno de los agentes que la aplicaron *en todo el mundo*, y no sólo en el vecindario adyacente a cada individuo, lo cual implicaría que cada jugador tiene un conocimiento completo de todas las interacciones habidas en el mundo en una cierta generación²³⁴. Los métodos de “aproximación” —por llamarlos así— que aquí estamos considerando atienden no obstante a lo que ocurre en una porción del mundo (una porción tanto más reducida cuanto mayor sea el mundo). Quisiera señalar otra vez que el modo apropiado de considerar estos modelos informáticos sería tenerlos por un *mundo real*, es decir, con todas las contingencias materiales que impiden que su ajuste a lo predicho por una teoría sea completo y perfecto. En *Bichos*, por ejemplo, aunque las reglas de transición del programa operan con los datos de una porción muy reducida del mundo, el éxito adaptativo real de una estrategia, globalmente considerado, coincide en líneas generales con los resultados que predice la teoría de la *dinámica de la replicación* (*replicator dynamics*)²³⁵.

²³³ El lector no muy familiarizado con la teoría de juegos encontrará una definición precisa de los conceptos “estrategia mixta” y “estrategia evolutivamente estable” en el capítulo 4.2. La introducción a estas ideas se encuadra allí en la simulación del juego del Gallina, que servirá como ilustración de las mismas.

²³⁴ Pero incluso ese conocimiento sería insuficiente para calcular qué estrategia es óptima; pues aun si se observase el rendimiento de todos los individuos y todas las estrategias, habría que tener en cuenta *contra quién* se han enfrentado esos jugadores (estrategias).

²³⁵ Una última observación sobre las reglas de transición. En todos los modelos informáticos que he podido ver hasta el momento —incluyendo también *Bichos*— la regla de transición es seleccionada siempre por el usuario, y se aplica por igual a todos los jugadores presentes en cada cambio de generación. Sin embargo, creo que sería muy interesante experimentar con la posibilidad de que sea *cada agente* quien lleva incorporado, en su propia estrategia, el tipo de regla que aplicará para seleccionar la estrategia de la próxima generación. Quizá no sea fácil ver cuál sería el correlato *biológico* de este supuesto (¿especies con diferentes tasas de reproducción, a igualdad de rendimiento adaptativo?). Pero si se aplica el modelo a la dinámica de seres *conscientes* o *con fines* la interpretación sería, simplemente, que a la hora de adoptar una nueva estrategia cada tipo de agente emplea diferentes reglas de maximización, ya sean más o menos racionales para la teoría clásica. En estas circunstancias, pues, quedaría abierta la pregunta sobre qué tipos de criterio de maximización evolucionarían.

Pero si se trata de determinar rigurosamente qué estrategia ha sido la más eficiente, no bastaría solamente considerar su rendimiento en el conjunto de la población, tal como acabo de señalar. Además, una regla que fuese verdaderamente rigurosa debería tener en consideración *contra quién* y en qué tipo de interacción obtuvo sus puntos cada estrategia. Incorporar estos datos en la regla de transición dispararía el volumen de cálculos hasta límites que escapan no ya sólo a un agente racional *real*, sino incluso al propio ordenador. Sobre todo porque, una vez más, surge una estructura recursiva: valoramos el resultado obtenido por la estrategia A en relación con el tipo de disposición de B; la disposición de B sólo la podemos deducir —en un mundo translúcido— de sus conductas efectivas, entre las cuales, a su vez, algunas nos remitirán a la disposición y resultados de C, etc. Aplicando las reglas de transición en ámbitos locales, y atendiendo sólo a los rendimientos de cada una (es decir, sin considerar contra quién se alcanzaron esos rendimientos) podemos apreciar una vez más no sólo la idoneidad, sino la propia necesidad, de imponer un límite a los cálculos que procuran alcanzar una optimización completa, tal como propone el concepto de racionalidad limitada que habíamos introducido en el capítulo anterior²³⁶.

3.4 Funciones de utilidad ordinales y cardinales: sentidos en que puede medirse la intensidad de las preferencias y su relevancia para la teoría de juegos *evolutiva*

En la sección anterior hemos podido ver que la teoría de juegos evolutiva (TJE) opera en todo momento con el supuesto de que es posible medir la *intensidad* de las preferencias. Este requisito resulta aun más patente, si cabe, cuando los conceptos de TJE se trasladan a un modelo dinámico. Por eso considero oportuno retomar ahora dos temas a los que ya nos habíamos referido en capítulos previos. Por un lado, 1) la cuestión acerca de si es pertinente considerar funciones de utilidad cardinales (1.2.2). Por otro, 2) la condición necesaria que representa para la teoría de juegos el que las utilidades de diversos sujetos se puedan *comparar*, entendidas como medida objetiva del rendimiento adaptativo o pagos “materiales” (2.1.5). La aceptación de (2) implica responder afirmativamente a (1), pero no a la inversa. En este epígrafe me centraré sobre todo en el primer punto, que de algún modo es todavía un debate “lícito” en el marco de la teoría heredada. El segundo aspecto, sin embargo, es por lo común rechazado (con la notable excepción de Harsanyi); sin embargo aquí no lo pondré en cuestión, por cuanto la TJE no apunta a la dimensión psicológica que imposibilita la comparación de utilidades. Hay que repetir, pues, que se trata de un supuesto necesario para la teoría. No obstante, una clarificación de (1) puede contribuir a que (2) sea un supuesto aún más verosímil.

²³⁶ Cfr. *supra*, 2.2.2.

El objeto del debate es si una función de utilidad puede medir la *intensidad* de las preferencias (utilidad cardinal) o si no es más que una *ordenación* de las mismas (utilidad ordinal). Aunque la economía ha adoptado mayormente el enfoque de Pareto, descartando las funciones cardinales de utilidad, la unanimidad no es todavía completa. Como contrapartida a la autoridad que proporciona el juicio procedente de aquella ortodoxia, sería oportuno notar que: a) economistas como Harsanyi han defendido esta posibilidad de construir funciones cardinales de utilidad, b) pese a las dificultades que aparecen tras un análisis detallado, lo cierto es que la idea de comparar intensidades en las preferencias es muy propia del sentido común²³⁷, c) según he adelantado, dado que la TJE convierte la noción de utilidad en un concepto más objetivo y mensurable (éxito adaptativo) la ordenación cardinal no sólo es posible, sino que incluso se vuelve indispensable para comprender la evolución de estrategias en función de su éxito.

Voy a comenzar con un ejemplo de Luce y Raiffa, que para mayor claridad representaré en una tabla:

Suppose, for example, that, *because of his aversion to gambling*, our subject reported he would be indifferent between paying out \$9 and having a 50-50 chance of paying out 10\$ or nothing.²³⁸

Lotería A	-10 \$. 1/2	0 \$. 1/2	= -5 \$
"Lotería" B ²³⁹	-9 \$. 1		= -9 \$

Tal como está formulado el problema, se puede interpretar que a nuestro sujeto le da lo mismo perder por término medio ("pérdida esperada"²⁴⁰) 9\$ que 5\$. Es habitual explicar esta llamativa indiferencia entre dos sumas diferentes de dinero en términos de *aversión al riesgo* (o aversión al juego). Continuando con el ejemplo:

His response could then be summarized by saying that his utilities for 0\$, -9\$, and -10\$ are 1, 1/2, and 0.²⁴¹

Efectivamente, si ahora cambiamos la medida, y en vez de contar dólares contamos "útiles", nos queda este otro esquema, donde se aprecia cómo siendo la utilidad la medida de la preferencia, resulta que el sujeto es indiferente entre las dos loterías.

Lotería A	0 U . 1/2	1 U . 1/2	= 1/2 U
"Lotería" B	1/2 U . 1		= 1/2 U

²³⁷ Por supuesto que esta apelación al sentido común —que tantas veces erra— no puede ser un argumento de peso, pero algo debemos querer decir cuando afirmamos que "prefiero *mil veces* el cine europeo al americano".

²³⁸ Luce y Raiffa, 1957, p. 22 (la cursiva es mía).

²³⁹ "Lotería" entre comillas, pues dado que la probabilidad de perder 9\$ es 1, no se trata de una auténtica lotería.

²⁴⁰ Nótese que con sumo cuidado lo llamo "pérdida esperada" (de dinero) y no "utilidad esperada".

²⁴¹ Luce y Raiffa, 1957, p. 22

Finalizando el ejemplo, Luce y Raiffa subrayan que:

We would be unwilling, however, to say that going from $-10\$$ to $-9\$$ is “just as enjoyable” as going from $-9\$$ to $0\$$.²⁴²

En el contexto donde se encuentra este ejemplo, los autores se valen de él para ilustrar el hecho de que no escogemos una opción porque ésta ofrezca más utilidad, sino que la utilidad, como mera medida, la ponemos *después*, habiéndonos formado primero la preferencia entre objetos o situaciones. Es importante notar que esta conclusión no es el punto en discusión relativo a si es posible o no medir la intensidad de las preferencias. Desde el abandono de la noción clásica de utilidad —con todos los componentes introspectivos y psicologistas que tiene en Mill y Bentham— sí hay consenso en que la utilidad no es algo sustantivo, presente en “el mundo”.

Sin embargo, este ejemplo es relevante también para la discusión en torno a la validez de las funciones de utilidad cardinales. Al mismo caso se remiten Luce y Raiffa páginas después para ilustrar lo que consideran una falacia, ampliándolo con la siguiente consideración:

Suppose that $A \succ B \succ C \succ D$ ²⁴³ and that the utility function has the property that $u(A) - u(B) > u(C) - u(D)$, then the change from B to A is more preferred than the change from D to C.

If we consider how the utility function is constructed from preferences between pairs of alternatives, not between pairs of pairs of alternatives, it is clear that the above statement is not justified. Indeed, empirically, it may be well false. [...].²⁴⁴

En el extenso repaso que Paul Schoemaker hace a la historia del concepto de utilidad esperada, el autor presenta este mismo ejemplo para mostrar que, en efecto, las funciones de utilidad NM²⁴⁵ no tienen por qué medir la intensidad de las preferencias.²⁴⁶

Vamos a *asignar* ahora cantidades concretas a las variables A, B, C y D. Supongamos pues el siguiente orden de preferencias: $10 \succ 6 \succ 3 \succ 1$.

Y en efecto, tenemos que: $10 - 6 > 3 - 1$.

²⁴² Luce y Raiffa, 1957, p. 22

²⁴³ El símbolo “ \succ ” significa “preferible a”.

²⁴⁴ Luce y Raiffa, 1957, p. 32

²⁴⁵ Funciones de utilidad de von Neumann y Morgenstern.

²⁴⁶ Schoemaker, 1982, p. 533

No importa qué transformación lineal hagamos de esta desigualdad, *si* valoramos la situación de esa manera, el cambio de 6 a 10 es más preferible que de 1 a 3. Esta conclusión que acabo de afirmar es lo que Luce y Raiffa consideran una importante falacia, y dedican a su aclaración una sección completa dentro del capítulo. Sin embargo, lo que discuten allí es la imposibilidad de hacer comparaciones *interpersonales* de utilidad²⁴⁷, no la comparación de utilidad de diversos resultados desde el punto de vista de un mismo sujeto.

Llama la atención que para ilustrar este punto los autores vuelvan al caso con el que inicié este apartado. Y llama la atención porque daría la impresión de que este segundo ejemplo no es del todo convincente, teniendo que echar mano del primero, bastante más claro: ciertamente resulta muy chocante afirmar que pasar de $-10\$$ a $-9\$$ es “just as enjoyable” como pasar de $-9\$$ to $0\$$. Mi idea (y asumo el riesgo de estar cayendo en la falacia en cuestión) es que por muy contraintuitiva que sea esta conclusión, se puede dar cuenta de ella mediante el concepto de aversión al riesgo. Es notable que para poner de manifiesto la supuesta falacia el ejemplo se valga de un sistema de medidas, el dinero, cuyas proporciones *sí* pueden ser comparadas, cosa que no es posible efectuar con medidas como la utilidad o la temperatura: $10\$$ sí es el doble de $5\$$, pero 10 grados no representan el doble de temperatura que 5 . No es esto lo que se pone en duda, y no sobra repetir que *una función de utilidad no es lineal respecto de aquello que mide* (ya sea preferencia sobre cantidades de dinero a ingresar o cualquier otro acontecimiento del mundo).

Para el sujeto del ejemplo, pasar de $-10\$$ a $-9\$$ *sí* es tan bueno como pasar de $-9\$$ a $0\$$ porque la función de utilidad no incluye sólo estas sumas de dinero, sino también la certeza de ahorrarse un dólar comparado con el riesgo de poder ahorrarse diez, pero temiendo el gasto adicional de $1\$$.

Aquí tenemos *tres* elementos para ordenar: $-10\$$, $-9\$$ y 0 . Pero es verdad que al medir la intensidad de las preferencias entre *dos* elementos carece de sentido pensar que A es tantas veces más preferible que B. Habría que decir simplemente que A es preferible “infinitas” veces a B, si fuese legítimo expresarlo de este modo. Esta especie de intuición la expresan formalmente von Neumann y Morgenstern en uno de sus axiomas para el tratamiento matemático de la noción de utilidad:

²⁴⁷ Cfr. Luce y Raiffa, 1957, pp. 33 – 34

$$u < v \text{ implies that } u < \alpha u + (1 - \alpha)v^{248}$$

Lo cual significa que:

[...] if v is preferable to u , then even a chance $1 - \alpha$ of v —alternatively to u — is preferable. This is legitimate since any kind of complementarity (or the opposite) has been excluded [...]²⁴⁹

La referencia al azar (*chance*) es aquí un recurso para expresar que v es sin más preferible a u (u sólo sería preferible si fuese imposible obtener v , es decir, en el caso límite de que $\alpha = 1$, lo cual también sería una certeza). Pero sirve además para mostrar cómo una función que ordena sólo dos elementos puede transformarse en una lotería equivalente, que incorpora un estado de cosas adicional: la ausencia de los otros dos (= 0\$). Y cuando abordamos las relaciones de preferencia en situaciones de riesgo (loterías) la función de utilidad NM “*implicitly* assumes that a neoclassical type of utility exists, otherwise it would not be possible psychologically to determine the certainty equivalence of a lottery”²⁵⁰.

Aunque las consideraciones psicológicas no luzcan nada bien en contextos tan formales, no se pueden dejar al margen. Si las funciones de utilidad no concuerdan exactamente con las funciones que expresan las variaciones monetarias, es porque esa aversión o inclinación al riesgo implican la presencia de algún otro tipo de consideraciones “en” el sujeto que evalúa las opciones que se le ofrecen. Si alguien es tan averso al riesgo como para que le resulte igual una “pérdida esperada” de 9\$ que otra de 5\$, alguna otra causa tiene que haber para esto. La tendencia a identificar utilidad con dinero es una convención en favor de la simplicidad, suponiendo que el dinero es *todo* lo que los sujetos incluyen en la función de utilidad. Como cuestión de método es totalmente aceptable, e incluso recomendable. Pero en cuanto se introduce la aversión o la inclinación al riesgo, la conveniencia de la identidad “dinero = utilidad” no se puede seguir manteniendo. O mejor dicho, a la inversa, se requiere el concepto de aversión al riesgo *porque* dinero y utilidad no son sin más equivalentes.

En experimentos y trabajos de campo, que inevitablemente tienen una conexión con la realidad²⁵¹, se insiste mucho en aislar el tipo de “material” o componente empírico sobre el que recae nuestra elección (dinero, pongamos por caso) como *único componente relevante* de la función de utilidad que intentamos maximizar, sin contar con otro tipo de consideraciones que podríamos estar incluyendo subrepticamente en nuestra función de utilidad, y que estarían

²⁴⁸ von Neumann y Morgenstern, 1947, p. 26

²⁴⁹ von Neumann y Morgenstern, 1947, p. 27

²⁵⁰ Schoemaker, 1982, p. 533

²⁵¹ Las simulaciones, curiosamente, son un tipo de experimento donde las funciones de utilidad se pueden considerar en su forma más abstracta, justamente porque los agentes artificiales carecen de toda psicología.

alterando la naturaleza del problema o del juego. Tenemos como ejemplo la explicación según la cual en el juego del Ultimátum los sujetos “equitativos” están de algún modo maximizando un “ideal de justicia” y no sólo la cantidad de dinero que podrán ingresar. Este tipo de advertencia es totalmente apropiado, no sólo para comprender la estructura puramente formal de los juegos, sino también, en el sentido opuesto, para mostrar lo difícil que es en la práctica tomar decisiones sin contar con *todo* lo que de ellas resulta. Pero en el terreno donde nos movemos se opta saludablemente por vaciar la función de utilidad de cualquier componente empírico, aunque esto conduzca a cierta noción tautológica de “preferencia”. El dinero es inevitablemente un componente empírico, pero cuando nos encontramos una divergencia entre la función de utilidad y el valor monetario, no siempre se puede hacer completa abstracción del *otro* componente empírico (psicológico) que hay que suponer como la causa de esa divergencia (a menos que demos por bueno en este caso la presencia de un efecto sin causa). En la mayoría de los casos este otro factor será irrelevante, pero es lo que explica cómo puede ser que pasar de $-10\$$ a $-9\$$ *sí* sea “just as enjoyable” como pasar de $-9\$$ to $0\$$.

Mi insistencia en este ejemplo de Luce y Raiffa se debe a que apelando a un hecho que contradice nuestra intuición (que $10\$ - 9\$$ sea igual que $9\$ - 0$) se intenta probar la imposibilidad de una función cardinal de utilidad. Pero ese hecho deja de ser contraintuitivo tan pronto como incorporamos la noción de aversión al riesgo.

No quisiera estar dando demasiada importancia a una cuestión puramente estilística o relativa al uso de ciertas palabras, pero el caso es que negando que $A - B$ sea “just as enjoyable” como $C - D$, da la impresión de que *sí* se está aceptando la posibilidad de comparar intensidades en las preferencias, y que lo problemático del caso reside en la inexactitud de la comparación. Como si estuviésemos diciendo: si se pudiese medir la intensidad de las preferencias, entonces $A - B$ *debería ser* “just as enjoyable” como $C - D$, pero como *de hecho en este caso no lo es*, entonces hay que descartar las funciones de utilidad cardinales. Sin embargo, la segunda premisa es falsa, y en el caso que venimos examinando sí es tan bueno $A - B$ como $C - D$. Lo único que muestra el ejemplo es que la función de utilidad no es función solamente del valor monetario.

Una crítica más efectiva consistiría en afirmar que la cuestión de si $A - D$ es tan bueno como $C - D$ simplemente *no tiene sentido*. Y esto es probablemente lo que el ejemplo de Luce y Raiffa pretende mostrar, aunque a mi juicio de un modo algo confuso. Ahora bien, tampoco está claro qué criterio de “sentido” hemos de entender para negarle sentido a una comparación de ese tipo. Si lo consideráramos desde algo así como un criterio de demarcación popperiano, para que

una comparación de ese tipo tuviese sentido debería ser posible comprobar si la afirmación es verdadera o falsa. En la medida en que mantengamos el concepto de utilidad en su sentido más formal (axiomático) tal verificación es en efecto imposible, y la comparación de intensidades entre preferencias resultando por tanto una cuestión vacua.

Aunque sea siempre conveniente entender el concepto de utilidad del modo más formal posible, su definición —y sobre todo su aplicación— nunca consiguen estar completamente desligadas de referencias empíricas, aunque sean algo tan abstracto como el dinero (“monetary values”)²⁵². Sobre todo porque al decir que la utilidad es la medida de la preferencia, no se puede desvincular la noción de preferencia de su condición de hecho psicológico, como estado mental de un sujeto que debe tomar una decisión. Muy especialmente cuando consideramos decisiones en situaciones de riesgo. Conviene recordar que el recurso al concepto de lotería no sólo interviene en la formalización de decisiones bajo riesgo, sino que es parte esencial de la condición de continuidad, uno de los axiomas de la teoría de la elección racional.²⁵³

Es cierto que los agentes artificiales o los organismos considerados por TJE carecen de estos estados mentales con los que intento salvar la preferencia como algo susceptible de ser comparado según su intensidad. Pero en este tipo de agentes la cuestión de la cardinalidad se soluciona de un modo mucho más directo, simple y libre de confusiones psicologistas: la utilidad ya no es la medida de la preferencia, sino que es sustituida por la idea de éxito adaptativo (aunque sea en un entorno artificial), éxito éste que puede ser medido y *comparado* con precisión y objetividad. De este modo la TJE sí permite —y requiere como un axioma— que las funciones de utilidad sean cardinales, pues para calcular el número de individuos que en la próxima generación emplearán una cierta estrategia, X, es preciso considerar cardinalmente las utilidades expresadas en la matriz de pagos. Si al cabo de una generación la estrategia A ha sumado un total de 40 puntos, y la estrategia B sólo 20, esto significa que el número de descendientes de A será *el doble* que el de B. Es verdad que planteada así la cuestión, esta suma total de pagos en juegos evolutivos no puede ser negativa (0 representaría la extinción total de una cierta estrategia); pero nada impide emplear valores negativos en los pagos de cualquier juego, siempre que al calcular el éxito diferencial de las diversas estrategias convirtamos la escala de modo que el valor más bajo se transforme en 0.

²⁵² Véase por ejemplo la siguiente definición: “A concave utility function implies risk-averse preferences for lotteries within the range of concavity: i.e., their certainty equivalences will be less than their expected monetary values” (Schoemaker, 1982, p. 532).

²⁵³ *Cfr.* von Neumann y Morgenstern, 1947, p. 26.

3.5 Transparencia y translucidez como reputación

En los epígrafes previos nos hemos ocupado de algunos conceptos clave relativos al funcionamiento de las simulaciones, y a cómo pueden ser interpretados si pretenden ser un modelo de la realidad. Hemos prestado especial atención a las reglas de transición, como ecuaciones que describen diversas dinámicas evolutivas, y a las estructuras territoriales que se pueden representar en una simulación. El objeto del presente epígrafe es profundizar en otros dos puntos también mencionados anteriormente: los juegos iterados y los diversos grados de translucidez o transparencia que pueden caracterizar a un agente, ya sea natural o artificial. Es fácil suponer que la discusión de estos temas estará vinculada a la aportación teórica de Gauthier y a la contribución práctica de Danielson, por llamar así a su diseño de jugadores transparentes que trasladan los argumentos de Gauthier, y las posibles críticas de los mismos, al mundo “virtualmente empírico” de los modelos informáticos.

Consideremos en primer lugar la variante *no iterativa* de un juego cualquiera. En una generación cada agente interactúa sólo *una vez* con sus diversos vecinos, sin que haya lugar, por tanto, para represalias u otro tipo de futuras rectificaciones de la conducta *hacia un mismo rival*. Aun así, en mi simulación esta única *jugada* sería suficiente para generar una incipiente reputación. La razón ya fue mencionada en 3.2.1, pero valdrá la pena reiterarla: aunque en cada *partida* un cierto jugador A sólo se enfrente una sola vez con otro jugador (B), puede no obstante *observar* qué es lo que B ha hecho en interacciones previas con sus respectivos vecinos (C, D, E, etc.). Aunque escasas, de estas jugadas previas el jugador A podría extraer algún indicio acerca del tipo de conducta del jugador B²⁵⁴. Para abreviar, desde el punto de vista del jugador que estemos considerando (A) podemos llamar a estas jugadas entre B y C, interacciones (de B) con terceros.

Que las interacciones con terceros sirvan para crear reputaciones es una *posibilidad* de *Bichos*, pero no significa que todas las estrategias que puede generar el programa se valgan de estas observaciones. Hay margen suficiente para algoritmos que sólo se fijan en las interacciones previas habidas entre él y su rival directo, o incluso para disposiciones que son totalmente indiferentes a los acontecimientos pasados. Además, muchos de estos algoritmos podrían responder a las jugadas anteriores de maneras muy contrarias a nuestras intuiciones²⁵⁵.

²⁵⁴ Es evidente que cuando se trata de observar y recordar interacciones, ya sean las propias o las ajenas, la temporalidad, como factor empírico, se vuelve relevante. En el transcurso de una generación, los agentes de *Bichos* nunca van llevando a cabo sus partidas de manera completamente sincronizada, si bien al cabo de cada $2 \times n$ jugadas, cada agente ha realizado el mismo número de movimientos (2, 4, 6, etc.). De este modo se vuelve casi inapreciable la ventaja que da a *algunos* jugadores esta secuencialidad en el desarrollo de las partidas. Puesto que la explicación de este punto no es fundamental para la discusión que nos ocupa en este capítulo, la he trasladado al epígrafe 8 del Apéndice A, donde ofrezco un ejemplo concreto y detallado de cómo se van sucediendo las interacciones en una generación dada.

²⁵⁵ Por ejemplo, podrían devolver siempre “mal por bien” o “bien por mal”, para decirlo en términos muy coloquiales.

Con todo, en mi modelo está siempre latente la vinculación entre la repetición de jugadas con el surgimiento y el mantenimiento de disposiciones cooperativas. La robustez que las interacciones *iteradas* prestan a las relaciones cooperativas fue uno de los factores más destacados por Axelrod, especialmente demostrado por el éxito de la estrategia Tit for Tat ya desde los primeros torneos en *La evolución de la cooperación*²⁵⁶.

Sin embargo Danielson entiende que este tipo de juegos iterados es irrelevante a efectos de una justificación última de la moralidad, pues es en el *interés* de cada jugador continuar cooperando, si ambos son racionales y saben que habrá futuras interacciones. En una situación así, pues, cooperar no implica ninguna restricción propia de la moralidad.

[...] TFT [Toma y Daca] is not a moral principle because in the Iterated Prisoner's Dilemma it is straightforwardly in an agent's interests. Given the expectation of future interactions, and other agents' responsiveness, each of the choices required by TFT is directly maximizing. Since straightforward maximization suffices here, there is no need for a new kind of principle, namely a moral principle constraining an agent's self-interest. Therefore, I agree with Gauthier that agents following TFT exhibit no real constraint.²⁵⁷

En efecto, este punto de vista sigue los pasos del proyecto ya iniciado por Gauthier, quien en *La moral por acuerdo* presenta su propuesta, desde un planteamiento puramente formal, para hacer posible la cooperación mutua *en un DP único, a una sola jugada, y en el que tampoco habrá interacciones adicionales con otros agentes*. En ensayos posteriores Gauthier refinará algunos aspectos de su teoría, aunque manteniéndose siempre dentro del esquema en el que la cooperación no es fruto de expectativas futuras. En “El egoísta incompleto”, por ejemplo, incide nuevamente sobre este particular.

[...] debo advertir que [este argumento] *no* depende de la suposición de que, como los agentes se encontrarán probablemente con una serie indefinida de conflictos entre estrategia y pago, elegir la cooperación en cada situación concreta afectará a las expectativas (y, por tanto, a las decisiones) de otros en las ocasiones posteriores. Se ha prestado considerable atención a la importancia de la

²⁵⁶ Pero tampoco debemos olvidar que a efectos de generar una cooperación sostenida es necesario no conocer el número exacto de jugadas que conformarán una partida. La razón expuesta por Axelrod es del mismo tipo que la anticipada por Selten para otra situación, conocida como “paradoja de la cadena de tiendas” (*cf.* Selten, 1978). Se trata de un argumento recursivo, que en lo relativo al DP ya lo encontramos en Luce y Raiffa: “Suppose the players are told that game [DP] is to be played exactly twice, and suppose that each player [...] sees that his second strategy [defraudar = D] strictly dominates his first one [cooperar = C] in a single play of the game. Thus, before making their first move, each realizes that in the second game the result is bound to be (D, D), for, after the first game is played, the second one must be treated as if DP is going to be played once and only once. Thus, it appears that (D, D) must arise in both trials. The argument generalizes: Suppose they know that DP is to be played exactly 100 times. Things are clear on the last trial, the (D, D) response is assured; hence the penultimate trial, the 99th, is now in strategic reality the last, so it also evokes (D, D); hence the 98th is in strategic reality the last, so it evokes (D, D), etc. This argument leads to (D, D) on all 100 trials. (Luce y Raiffa, 1957, pp. 98 – 99).

²⁵⁷ Danielson, 1992, p. 46

reputación en los Dilemas del Prisionero repetidos, así como en situaciones en las que el agente se beneficia de la disuasión proporcionada por una amenaza creíble [...]. Pero nuestro objetivo no son los conceptos de reputación o amenaza. El fundamento para preferir la cooperación condicional al egoísmo no depende de la suposición de que se pueden obtener beneficios a largo plazo gracias a la reputación adquirida a base de decisiones cooperativas. Mi argumento es aplicable a un conflicto que ocurra una sola vez.²⁵⁸

La posibilidad de resolver conflictos de este tipo tiene uno de sus fundamentos en las nociones de *transparencia* y *translucidez*, introducidas por Gauthier ya en *La moral por acuerdo*²⁵⁹. Si los agentes fuesen transparentes, es decir, si supiesen a ciencia cierta qué disposición a obrar tiene el otro, en un DP sólo habría dos planteamientos racionales: cooperar si prevemos que el otro cooperará, y defraudar si esperamos que el otro defraudará. A este tipo de agente Gauthier lo llama maximizador restringido (MR), pero adoptaré para él el nombre que le da Danielson: cooperador condicional (CC). Frente a este tipo de agentes que son *sensibles* (*responsive*) a la conducta o disposición del otro, tenemos a los cooperadores incondicionales (UC) y a los defectores incondicionales (UD²⁶⁰) o maximizadores directos (MD), según el nombre que les da Gauthier. Éstas serían las clases más básicas, los tipos ideales más simples, entre la infinidad de estrategias y conductas que pueden observarse en los seres reales, ya sean racionales o irracionales, incapaces o no de restringir sus aspiraciones maximizadoras.

Gauthier es consciente de que “suponer la transparencia parece quitarle a nuestro argumento gran parte de su interés”, pues “queremos relacionar nuestros supuestos ideales con el mundo real”²⁶¹. Por ello Gauthier propone una exigencia menos fuerte, la translucidez, que a diferencia de la transparencia sería un conocimiento más o menos aproximado —quizá *nunca* del todo cierto— acerca de si tales disposiciones están o no, y en qué grado, presentes en los demás. No es difícil conceder que, en efecto, los seres humanos somos de algún modo translúcidos. A pesar de eventuales errores de apreciación o de ciertos ejercicios de hipocresía, en general somos capaces de reconocer qué tipo de disposición tienen nuestros semejantes, y podemos también suponer que nuestras actitudes o inclinaciones son igualmente accesibles a los demás. Gauthier muestra su voluntad de que la teoría, sin renunciar a su identidad, pueda también descender a la realidad.

²⁵⁸ Gauthier, 1988a, pp. 107 – 108.

²⁵⁹ Cfr. Gauthier, 2000, pp. 233 – 234

²⁶⁰ UC = unconditional cooperator, UD = unconditional defector.

²⁶¹ Gauthier, 2000, p. 233

[...] a menos que los cooperadores sean razonablemente capaces de identificarse mutuamente y de distinguir a los no cooperadores, su disposición condicional puede resultar desventajosa. Ésta es una cuestión empírica. Sin embargo, dados los beneficios reales de la cooperación, es de esperar que los cooperadores condicionales potenciales traten de desarrollar su pericia tanto para identificar las disposiciones de aquellos con quienes interactúan, como para dar a conocer su propia disposición. Lo beneficiosa que realmente sea la cooperación condicional dependerá de esta pericia, así como de la proporción de cooperadores sobre el total de agentes en la interacción.²⁶²

La cuestión ahora es *cómo* realizar ese tránsito de la teoría a la práctica. Se trata de una cuestión empírica, según bien dice Gauthier, de cuyos detalles puede prescindir en el marco de su argumentación. Pero a la hora de diseñar los agentes artificiales que “habitan” en una simulación, es necesario concretar el modo en qué habrá de entenderse esta translucidez, y cómo puede ser efectivamente puesta en práctica. Esta necesidad pone nuevamente de manifiesto que una simulación, pese a al grado de abstracción que le es propio por su condición de modelo, es en cierto modo un mundo en sí misma, que requiere incorporar cierto nivel de detalle superior al de un modelo puramente teórico.

Por tanto propondré para mi modelo informático algunos mecanismos *empíricos* o *materiales* mediante los cuales los agentes pueden desarrollar esa pericia, tanto para reconocer la disposición de los demás, como para dar a conocer la propia. Más tarde se verá en qué medida estos mecanismos implantados en el juego pueden reflejar en mayor o menor medida procedimientos empleados por agentes reales (seres humanos, animales, grupos) a la hora de observar comportamientos ajenos, valorarlos y responder a ellos. El tipo de agentes representados en nuestro juego podrían considerarse bajo el atributo que Gauthier denomina “translúcidos”, es decir, que de algún modo impreciso, renunciando a la certeza completa, pueden anticipar qué es lo que harán otros jugadores, así como dar ciertas pistas acerca de sus propias disposiciones. Es evidente que ambos factores, y no sólo el primero, son indispensables para evitar que el DP desemboque en el fraude mutuo. Antes de proceder a detallar cómo está implementado el carácter translúcido en los agentes de *Bichos*, quisiera adelantar que las simulaciones de Danielson cuentan con agentes totalmente *transparentes*. Cuando hayamos visto también cómo programa Danielson estos jugadores sumamente ideales, justificaré por qué no he adoptado su enfoque: no se trata de buscar un mayor realismo, sino una mayor versatilidad, por cuanto los individuos translúcidos pueden adoptar una gama más amplia de estrategias que los sujetos perfectamente transparentes.

²⁶² Gauthier, 2000, p. 107.

Lo que muestra Gauthier en *La moral por acuerdo*, es que aunque en el DP cada jugador, *por su propio interés*, preferiría que el resultado D-C (yo defraudo, tú cooperas) fuese el que efectivamente tiene lugar, sin embargo, dada la propia estructura autoanulante que en este caso caracteriza a la racionalidad maximizadora, resulta que entre jugadores que tienden idealmente a la transparencia *el mejor* resultado que ambos podrían esperar alcanzar pasa a ser C-C. Por decirlo de otro modo: si ambos jugadores son absolutamente transparentes es imposible, siendo ambos *también* maximizadores racionales, que uno coopere y el otro defraude. Esto, como situación ideal. Pero no es *toda* la propuesta de Gauthier, porque a una interacción entre individuos totalmente transparentes cabría aplicarle una observación análoga a la de Parfit respecto de los DP iterados²⁶³: en un mundo transparente, los DP simplemente dejan de ser tales. Sin duda es moralmente más significativo el énfasis que pone Gauthier en la *racionalidad* de adoptar la disposición del maximizador restringido; y cuando decimos “adoptar” esto significa, por definición, adoptar *sinceramente*. Sin embargo necesitamos ahora centrarnos en las condiciones (transparencia o translucidez) necesarias para que la maximización restringida sea una alternativa real a la maximización directa y sus paradojas²⁶⁴.

Según vamos introduciendo supuestos empíricos que den cuenta de cómo sería posible en la práctica conocer dichas disposiciones, entramos en el terreno de la *translucidez*, donde el error, y por tanto la cooperación unilateral, sí son posibles. La noción de transparencia propuesta por Gauthier es el extremo último ideal, del cual participan los diversos casos de translucidez. En este caso, pues, lo que cada jugador debería intentar incluso en un *DP a una sola jugada* sería lo siguiente:

1. Saber si el otro cooperará o no.
2. Estar uno mismo *realmente* dispuesto a cooperar, *si* detecta en el otro una disposición genuinamente cooperativa.
3. *Hacer saber al otro* que uno mismo tiene una disposición cooperativa, *si* el otro también la tiene.

²⁶³ “On my definition, those who face such a series of [repeated Prisoner’s Dilemmas] do not even face a single *true* Prisoner’s Dilemma. It is not true, of such people, that it will be worse for both if each rather than neither does what will be better for himself.” (Parfit, 1986, p. 59).

²⁶⁴ La transparencia es una condición necesaria, pero no suficiente. La otra condición es precisamente la que acabo de apuntar, esto es, la *sinceridad* de la disposición adoptada. La discusión de este tema la desarrolla Gauthier (2000, cap. 6, pp. 229- 233) cuando considera las objeciones que presentaría el Necio de Hobbes a la conveniencia de cumplir los pactos acordados, y me ocuparé de ella con más cuidado en el capítulo 5. Por ahora se puede resumir en la siguiente interpretación. Si alguien adopta *sinceramente* una disposición, no se trata solamente de que esa transparencia que estamos suponiendo será percibida por los demás. Lo importante, además, es que si su disposición es sincera, *no podrá* defraudar. El sujeto que está deliberando qué disposición adoptar, y aún se plantea si llegado el caso no será más racional defraudar, *todavía* no ha adoptado la disposición. Su deliberación no ha concluido, si cabe entenderlo como proceso psicológico; o si adoptamos una perspectiva formal e intemporal —más acorde con el planteamiento de Gauthier—, diremos simplemente que su racionalidad es imperfecta.

Algunas estrategias de otras simulaciones cuentan con la posibilidad de tomar una u otra decisión con cierta probabilidad. Pero en *Bichos* consideramos a los agentes rígidamente determinados a hacer lo que les indica su criterio de actuación (estrategia). Ello es necesario para que se cumpla la “sinceridad” requerida en el punto 2, es decir, para que no sea posible “cambiar de idea” o rectificar una decisión tomada²⁶⁵. Esta rigidez es compatible, según veremos, con una enorme cantidad de posibilidades, tanto en el modo de observar y valorar la conducta ajena como en la manera de responder a ella. De todos modos, los agentes mi simulación pueden engañar en el sentido de que son capaces de exhibir una serie regular de acciones, y modificar sin embargo el patrón en algún caso futuro. Pero esta ruptura de la serie es una decisión tomada de acuerdo con una regla perfectamente determinada, y no una variación decidida en el último instante (y mucho menos modificada como un intento de despistar a algún otro agente que haya descubierto cuál es el patrón de conducta).

Las tres condiciones que acabo de enumerar han de cumplirse “simultáneamente”, en el sentido puramente lógico de que se coimplican unas a otras. Pero si finalmente nos alejamos de la pura formalidad del problema y pasamos a un terreno más empírico, el razonamiento que acabamos de analizar sólo puede tener lugar de manera *sucesiva*, que *en el tiempo* equivaldrá a un juego de reputaciones. Así, por ejemplo, el modo de dar a conocer al otro nuestra propia disposición (punto 3), será la repetición de un cierto tipo de conducta, que permitirá a quienes nos observan hacerse una idea de nuestro comportamiento típico.

Habíamos reiterado la intención de seguir el planteamiento de Gauthier y Danielson, es decir, resolver el conflicto representado en el DP cuando éste se presenta una sola vez. Sin embargo, tras haber adoptado la translucidez como rasgo de los agentes capaces de esta resolución, parece que he vuelto subrepticamente a los juegos iterados. Efectivamente, en *Bichos* la translucidez se funda en la observación reiterada de ciertos comportamientos, y esta reiteración, obviamente, requiere que los juegos sean iterados, lo cual, precisamente, procurábamos evitar.

Éste es el momento adecuado para revisar la posición de Gauthier y Danielson, mostrando que el carácter iterativo, la *repetición* de jugadas, no es por sí mismo lo que disuelve el conflicto moral presente en el DP. Mi argumento es que el DP iterado carece de interés moral —tal como sostiene Danielson— sólo cuando se considera la repetición de jugadas mirando hacia el futuro. En este sentido, sí es cierto que la *expectativa* de próximas interacciones convierte la cooperación en una conducta directamente maximizadora, volviéndose innecesaria la restricción

²⁶⁵ Intento recoger con estas expresiones lo que Danielson llama aquí “second guessing”.

moral. Pero la importancia de un DP iterado puede manifestarse poniendo la mirada en el pasado, sólo en las interacciones previas. Prestando atención a lo ocurrido anteriormente podemos formarnos una idea de cuáles son las disposiciones ajenas. No soy capaz de pensar otro medio mediante el cual, en la práctica, pudiese hacerse efectiva la noción de transparencia.

Al margen de esta cuestión psicológica, lo esencial es que sin importar cuántas veces se haya repetido el conflicto en el pasado, lo cierto es que puedo estar seguro de que *si* esta vez es la última, entonces lo racional será *defraudar*. Con todo, si mi disposición cooperativa es sincera, y si la conducta observada previamente en el otro me inclina a pensar que él también cooperará, así lo haré yo también, incluso sabiendo que no habrá futuros DP. Lo que Gauthier formulaba como “argumento aplicable a un conflicto que ocurra una sola vez”, yo propondría expresarlo como “aplicable a un conflicto que en principio no volverá a ocurrir”²⁶⁶. Gauthier contrapone directamente la idea de una “reputación adquirida” con el carácter irrepetible de un conflicto que requiere la solución específicamente moral, pero ambos elementos no tienen por qué estar vinculados.

Si pensamos en agentes reales (humanos) podemos suponer que la reiteración de acontecimientos pasados nos puede inclinar a creer —mediante ese hábito que Hume ponía por toda justificación del razonamiento inductivo— que dichos acontecimientos volverán a repetirse en el futuro²⁶⁷. Como cuestión psicológica, de hecho, pocas veces podemos estar completamente seguros de que no habrá una próxima ocasión. Tal vez sea este dato aportado por nuestra experiencia lo que conduce a fundir las dos dimensiones de un juego iterativo (pasado y futuro), como si tuviesen la misma influencia a la hora de tomar una decisión. Pero al tratar con agentes artificiales podemos tener la garantía de que para ellos el futuro no existe (a menos que decidamos programarlos de otro modo). Los individuos programados en *Bichos*, pese a sus múltiples posibilidades, *nunca saben si la jugada que están llevando a cabo es o no la última de la partida contra un cierto jugador*. Este desconocimiento no se debe a que el número de jugadas sea indeterminado o varíe al azar, pues el número de iteraciones lo fija el usuario de un modo totalmente definido. A efectos prácticos, si tenemos que describir cómo “perciben” los agentes artificiales la secuencia de jugadas, diremos que para ellos cada jugada es siempre la última, aunque de hecho no lo sea. Pueden mirar hacia atrás, pero nunca hacia adelante. Por tanto,

²⁶⁶ En cualquier caso hay que insistir una vez más en lo característico del planteamiento Gauthier-Danielson. Aunque basada en la disposición CC, la razón para cooperar en ese caso sigue siendo auto-interesada: si veo que el otro va a cooperar y yo coopero el resultado es mejor que si ambos defraudamos y, según CC, sólo cooperaremos si ambos “vemos” que la cooperación va a ser mutua, con lo cual el caso de poner defraudar queda excluido de la deliberación por imposible (o por sumamente improbable, si cabe la posibilidad de error).

²⁶⁷ No me refiero simplemente a que tras haber visto que X ha cooperado 9 veces, concluyo que “probablemente” volverá a cooperar la décima vez. De manera más general, quiero decir que si X y yo nos hemos encontrado 9 veces, estaré inclinado a pensar que nos veremos en una décima ocasión, independientemente de sí, además, espero que él vaya a cooperar o no.

siempre que cooperen, ello no será porque esperan mantener la cooperación en el futuro o porque temen represalias. Pero al no tener este tipo de conciencia —que aquí sólo atribuyo en sentido figurado— se dirá que tampoco se comportan como si tuviesen una auténtica disposición moral. Ciertamente no poseen ninguno de estos dos tipos de estados mentales, pero basta con que carezcan de expectativas sobre el futuro para que valgan como un modelo de lo que serían comportamientos genuinamente cooperativos, haciendo abstracción del modo en que *nosotros* nos representamos, como hecho psicológico, lo que es una disposición moral.

3.6 Razonamiento inductivo y sensibilidad en los agentes artificiales

En el punto (4) de la sección 3.1 me referí al modo en que los algoritmos que juegan en una simulación podrían intentar predecir el futuro sobre la base de observar el pasado. La forma de expresar este objetivo da lugar a muchas dificultades, pero quiero partir de ella porque manifiesta un punto central de las decisiones estratégicas, propias de la teoría de juegos. En estas situaciones de elección para tomar una decisión óptima necesitamos saber lo que *hará* el otro. En sus planteamientos más simples e idealizados, son precisamente los supuestos y axiomas de la teoría de juegos lo que permite efectuar tal predicción. Disponiendo ambos jugadores de un conocimiento mutuo acerca de su racionalidad maximizadora, que sus preferencias se ajustan a ciertos requisitos formales, que sus funciones de utilidad son conocidas por ambos, y que la acción de cada uno intentará ser la mejor respuesta racional a lo que espera del otro, la teoría permite no sólo predecir sino *determinar* cuál será la conducta de cada jugador²⁶⁸. Por definición, si la predicción no se cumple, entonces se ha especificado incorrectamente alguna circunstancia de la situación. Lo que la teoría nos ofrece aquí como una respuesta a la pregunta inicial (qué hará el otro), es lo que en 2.1.5 presentábamos como una limitación, cuando examinábamos con Danielson la propuesta de ampliar el marco de la teoría heredada, a fin de que las preferencias no *determinen* las acciones. Volveré sobre este punto un poco más adelante.

Después de von Neumann y Morgenstern la teoría de juegos ha conocido un importante desarrollo, particularmente en torno al concepto de equilibrio de Nash y sus posteriores refinamientos. Así, la teoría es capaz de establecer cuál será el comportamiento racional en situaciones que ya no son tan simples: juegos de información incompleta, de información imperfecta²⁶⁹, con movimientos sucesivos, incluso considerando la posibilidad de que estos agentes perfectamente racionales cometan errores al implementar sus decisiones (el llamado “equilibrio de la mano temblorosa”²⁷⁰), etc. Muchos de estos refinamientos vienen motivados por

²⁶⁸ En el peor de los casos una conducta aleatoria, pero con probabilidades bien determinadas.

²⁶⁹ Un amplio recorrido por las aportaciones de Harsanyi en estos campos se encuentra en Julia Barragán y Damián Salcedo (2006).

²⁷⁰ *Cfr.* Selten, 1975

la necesidad de tratar ciertos casos bajo supuestos más realistas. Pese a esta motivación en principio “empírica”, si cada uno de estos desarrollos ha supuesto un progreso es precisamente porque han permitido formalizar esos casos más complejos para insertarlos en una teoría puramente matemática.

Así, no importa cuán intrincadas sean las interacciones a estudiar, ya sean reales o virtuales, siempre se podrán abstraer las características relevantes de una situación y formalizarlas como un juego. Si se trata de hacer predicciones, la teoría cuenta con las herramientas conceptuales necesarias para proporcionarlas, por compleja que sea la situación. Por ejemplo, la noción de equilibrio bayesiano perfecto (EBP) permite encontrar un único curso de acción óptimo para cada jugador en situaciones extremadamente inciertas, donde los jugadores no conocen las funciones de utilidad de los demás y deben tomar varias decisiones sucesivas, actualizando sus creencias acerca del otro jugador a la vista de sus movimientos anteriores²⁷¹. Más concretamente —y esto nos llevará al punto sobre el que quiero incidir— en la búsqueda de un EBP esta actualización de creencias presupone la regla de Bayes como *el* procedimiento racional para emprender dicha tarea. Lo cual es perfectamente coherente, pues según hemos indicado, el objeto de la teoría es analizar y predecir el comportamiento de agentes idealmente racionales.

Ahora bien, si nos situamos ahora en el contexto de modelos evolutivos, que además rompen con la teoría de juegos clásica en el sentido de que dan cabida a acciones que no están determinadas por preferencias, entonces el problema de la predicción ya no es una dificultad técnica relativa al complejo tratamiento matemático que requieren ciertos datos. El problema es que ni siquiera parece tener sentido intentar predecir qué hará el otro jugador. Y sin embargo necesitamos relacionar las conductas de diferentes jugadores a la hora de explicar sus decisiones, pues aunque hayamos ampliado el marco conceptual seguimos en situaciones estratégicas.

Mi propuesta será que esta relación no adquiera necesariamente la forma de una predicción o una expectativa, sino que sea de carácter retroactivo. Como excepción, pronto veremos un ejemplo de estrategia muy elaborada, participante en el primer torneo de Axelrod, que intenta predecir el comportamiento de su oponente. Pero por el contrario, en las simulaciones con ordenador la norma es que el tipo de relación causal entre las respuestas de los individuos sea algún tipo de mecanismo de retroalimentación (*feedback*) más que de carácter propositivo. Una razón obvia es que, en rigor, un programa no puede tener ningún tipo de expectativa. Pero incluso en un sentido figurado, si consideramos un algoritmo que implementase una regla de actualización bayesiana y observase todos los requerimientos matemáticos que pudiesen dar carácter lógico a una inducción, una estrategia así no tendría cabida en una simulación evolutiva.

²⁷¹ El concepto de EBP se debe a Kreps y Wilson (1982a). En la sección 4.4 me ocuparé del mismo en profundidad.

Esta afirmación la justificaré indirectamente, comenzando por una objeción al argumento que estoy desarrollando. Si ya existe un procedimiento para calcular *a priori* cuál es la respuesta maximizadora dadas ciertas circunstancias (por enmarañadas que sean), ¿por qué no implementarlo directamente en el programa, en lugar de generar al azar estrategias que en su inmensa mayoría serán absurdas? La respuesta es que si adoptamos un planteamiento evolutivo, introducir sin más un nivel tan alto de racionalidad es simplemente una petición de principio. De todos modos, lo que sí se podría hacer, por ejemplo, es analizar las complejidades del método para calcular el EBP, encontrar dicho equilibrio para un cierto juego, y después, partiendo de un contexto desordenado y carente de propósito, observar si la dinámica evolutiva produce estrategias que alcanzan dicho equilibrio, y si lo alcanzan, además, como resultado de haber aplicado los cálculos desarrollados por la teoría. El primero de estos objetivos es el que de hecho persiguen estos modelos: la solución racional, el punto de equilibrio, lo conocemos de antemano; después se tratará de ver si la selección natural se estabiliza en ese equilibrio. Pero el segundo objetivo, que los agentes artificiales encuentren la solución racional *de la manera apropiada* es una pretensión excesiva. Sin duda sería muy interesante programar una simulación que partiendo de una ameba llegue al cabo de muchas generaciones a formular las leyes de gravitación universal. Más que un modelo, algo así sería la realidad misma, aunque es cierto que existen técnicas para recombinar al azar diversos fragmentos de código hasta producir programas capaces de resolver complicados problemas. Sin embargo, estos problemas son muy puntuales, y de modo muy legítimo y práctico hacen abstracción de todos los aspectos que no les son esenciales.

Lo que ocurre con el fenómeno que analizamos aquí (la evolución de la racionalidad y la moralidad) es que los aspectos influyentes son muchos. Se podría programar una simulación que partiendo de operaciones aritméticas muy básicas fuese generando algoritmos cada vez más complejos, hasta dar con uno capaz de encontrar la forma general del EBP. Pero si incorporamos este nivel de detalle, ¿por qué no aplicar también la misma minuciosidad a otros factores relevantes para el surgimiento y mantenimiento de las conductas cooperativas? Por ejemplo, estos otros aspectos podrían estar referidos al aspecto físico de los jugadores, a la evolución de sus lenguajes, a los accidentes geográficos del mundo donde viven, a los recursos del medio y la evolución de las tecnologías para explotarlos, etc.

En mayor o menor medida todo se podría incorporar en un modelo, pero llegaría un punto en que sería difícil distinguir la realidad del modelo, con lo cual éste perdería su contenido²⁷². Para el propósito de esta investigación supondría una arbitrariedad desarrollar pormenorizadamente los aspectos matemáticos de la racionalidad maximizadora y reducir a un nivel menos concreto otros factores influyentes en la evolución de la moralidad. De lo que se trata es de guardar un equilibrio en los grados de abstracción que poseen los diversos elementos del modelo.

El propósito de esta larga introducción es justificar la apariencia primitiva del método “estadístico” que emplean los agentes artificiales de *Bichos* para anticipar los comportamientos de otros jugadores. La justificación ya ha sido adelantada al indicar que propiamente hablando los algoritmos no intentan predecir nada. Es cierto que se pueden interpretar algunos patrones de comportamiento como si respondiesen a un intento de maximizar la utilidad *esperada* en función de ciertas expectativas acerca de la conducta del otro jugador. Pensemos un ejemplo simple pero ilustrativo. Toma y Daga escoge siempre la misma acción que el otro jugador ha hecho en la última. Nada impide pensar que Toma y Daga hace esto porque cree que su oponente volverá a defraudarle (y no quiere dejarse explotar) o porque cree que el otro volverá a cooperar, y pretende entonces establecer una larga y beneficiosa secuencia de interacciones cooperativas. En realidad, sabemos que esto no es así. Análogamente, el procedimiento que describí al inicio de este capítulo —presentado con más detalles en el Apéndice A— se podría ver como un intento de deducir un patrón de comportamiento partiendo de ciertas observaciones. Se trataría de un método un tanto burdo, sobre todo teniendo en cuenta que cada partida consta de pocas jugadas (iteraciones) con lo cual ni siquiera cabe apelar a ciertas leyes estadísticas relativas a los grandes números. No representa tampoco una actualización bayesiana de creencias (aunque los agentes parten de ciertas creencias iniciales cuando no disponen de ningún dato). Aunque se podría argumentar que de algún modo la técnica responde a una forma de inferencia inductiva más propia del sentido común que de la ciencia —obviando en cualquier caso las falacias que el sentido común comete ocasionalmente— lo más apropiado sería considerar estos algoritmos como lo que realmente son: una función que proporciona ciertas salidas, puestas ciertas entradas. Puestas en marcha las simulaciones, a menudo se aprecian regularidades aparentan anticipaciones correctas de lo que otro jugador hará. En estos casos lo que podemos concluir es que se ha generado un equilibrio espontáneo entre las entradas y salidas de dos estrategias. Cuando además estos equilibrios son cooperativos, podemos además extraer la feliz conclusión

²⁷² “En aquel Imperio, el arte de la cartografía logró tal perfección que el mapa de una sola provincia ocupaba toda una ciudad, y el mapa del imperio, toda una provincia. Con el tiempo, esos mapas desmesurados no satisfacieron, y los Colegios de Cartógrafos levantaron un Mapa del Imperio, que tenía el tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él [...]”. Borges, “Del rigor en la ciencia”, *El Hacedor*, 1960.

de que la evolución ha favorecido no sólo estrategias cooperativas, sino estrategias que, además, se forman creencias “correctas” acerca de las disposiciones de sus semejantes. Pero una vez más, esto supone una interpretación que sólo es legítima si se la mantiene como tal (como *interpretación*) pues está planteada en términos de algo que realmente no existe en la simulación, a saber, las creencias.

Por lo demás, debe quedar claro que no hay un propósito predictivo programado en estos autómatas, aunque las explicaciones en términos teleológicos —o incluso antropomórficos— sean siempre las más fáciles de entender. Y esto, lejos de suponer un defecto de estos modelos, entiendo que es lo que les proporciona su verdadero atractivo, pues lo interesante es observar cómo patrones de conducta que se ajustan en apariencia a la llamada racionalidad económica pueden surgir y desarrollarse según una dinámica puramente darwinista, partiendo de un caos inicial.

Para concluir este epígrafe, analizaremos un tipo de estrategia muy diferente del que he estado describiendo hasta aquí. Diferente precisamente porque sí incorpora un procedimiento para predecir el próximo movimiento de otro jugador. Se trata evidentemente de una estrategia programada inteligentemente, con un propósito bien definido, y que sin embargo tuvo en el torneo de Axelrod un éxito mucho menor que otras reglas más simples (como es sabido, la más exitosa de todas, Toma y Daca, es tan sencilla que puede generarse fácilmente mediante algoritmos genéticos²⁷³). Se trata de la estrategia “Downing”, que Axelrod describe en *La evolución de la cooperación*. Citaré en cursiva los puntos en los que coincide con lo que, en general, *podrían* hacer las estrategias de mi modelo²⁷⁴.

La idea es que si el otro jugador no parece tener en cuenta lo que DOWNING está haciendo, DOWNING tratará de quedarse con lo que pueda no cooperando. Por otra parte, si el otro jugador parece mostrar sensibilidad a la conducta de DOWNING, éste cooperará. Para juzgar en qué medida responde el otro, DOWNING hace una estimación de la probabilidad de que el otro coopere después de haber cooperado él, y también, la probabilidad de que el otro jugador coopere después de que DOWNING no lo haga. Tras cada jugada, DOWNING va actualizando su estimación de estas dos probabilidades condicionadas, y después selecciona la opción que hará máximas sus ganancias a largo plazo, bajo la hipótesis de que es correcta la imagen que se ha formado del otro jugador. Cuando ambas probabilidades condicionadas tienen valores parecidos, DOWNING considera que es preferible no cooperar, dado que el otro jugador parece comportarse igual tanto si DOWNING coopera como si no. Recíprocamente, si el otro jugador tiende a cooperar tras haberlo hecho DOWNING, y tiende a

²⁷³ Cfr. Axelrod, 1997, cap. 1.

²⁷⁴ Conviene reiterar que “podrían” significa que los agentes de *Bichos* son potencialmente capaces de implementar estos algoritmos, aunque sólo el azar inicial, las posteriores mutaciones y sus eventuales ventajas adaptativas determinarán que lo hagan o no.

no hacerlo cuando éste no lo hace, es decir, si el otro jugador parece tener sensibilidad, DOWNING considerará que lo que más conviene hacer con un jugador sensible es cooperar. En ciertas circunstancias, DOWNING llegará incluso a estimar que la estrategia más conveniente será ir alterando cooperación y defección.

Al comienzo de la partida, DOWNING no conoce los valores de estas probabilidades condicionadas correspondientes al otro jugador. Supone entonces que son cada una de 0.5, pero no le asigna peso alguno a esta hipótesis conforme se desarrolla el juego y le va llegando información verdadera.

Se trata de una regla de decisión verdaderamente refinada, pero su puesta en práctica tiene un fallo. Al empezar suponiendo que el otro jugador es insensible, DOWNING se ve condenado a no cooperar en las dos primeras jugadas.²⁷⁵

Según puede apreciarse por los fragmentos que he marcado en cursiva, la diferencia fundamental respecto de Downing no es lo que en *Bichos* los agentes pueden hacer, sino *cómo* lo hacen. Downing efectúa sus anticipaciones mediante un cálculo de probabilidades condicionadas, contando además con una perspectiva maximizadora a largo plazo. Pero para ser sensible a las respuestas del otro jugador no hace falta aplicar la fórmula bayesiana, sino que basta con poder ofrecer respuestas variadas a comportamientos también diversos²⁷⁶. Evidentemente habrá maneras más o menos efectivas de ser sensible²⁷⁷. Hay una diferencia más, que no queda reflejada en la cita que he copiado: en el modelo que propongo la sensibilidad se funda, cuando la hay, tanto en la observación de interacciones propias (entre nosotros y el agente que tenemos delante) como *ajenas* (entre este último y terceros), y no solamente en *nuestras* interacciones previas con aquel jugador a cuya conducta somos sensibles.

Es importante insistir en un punto. La permanente tendencia a identificar sensibilidad con anticipación o expectativa tiene probablemente otra fuente en cierto modo de entender las nociones de transparencia y translucidez. Es natural pensar que lo fundamental en un mundo de individuos transparentes es que todos sabemos lo que *hará* el otro. Sin embargo, cuando en el próximo epígrafe veamos las primeras simulaciones de Danielson, nos percataremos de una dificultad inseparable del concepto de transparencia. Es el propio Danielson el primero en señalar este problema, que ahora resumiré diciendo que dos agentes *transparentes* se ven condenados a no poder actuar en absoluto, precisamente por intentar anticipar lo que el otro *hará*. Veremos también que su solución es ciertamente ingeniosa, pero con la curiosa peculiaridad de que *renuncia a prever la decisión del otro jugador*.

²⁷⁵ Axelrod, 1986, pp. 43 – 44.

²⁷⁶ Es decir, que la representación gráfica de la función no sea una línea horizontal.

²⁷⁷ Algunas pueden ser masoquistas o envidiosas, si se me permite la metáfora: una estrategia puede responder cooperativamente a otra que siempre le ha defraudado, y defraudar a otra que siempre ha cooperado. Esto último sería ciertamente racional, aunque en combinación con aquel primer tipo de respuestas resulta ciertamente incomprensible.

3.7 Agentes transparentes y regresiones infinitas en situaciones estratégicas

Atendamos nuevamente al punto de vista según el cual la observación de los movimientos del otro jugador tiene como función principal predecir lo que hará en el futuro. Recordemos que no basta conocer la estructura formal del juego y los axiomas que definen la conducta racional, pues hemos aceptado la posibilidad de que no todas las conductas respondan necesariamente al imperativo maximizador de la racionalidad práctica. Por tanto, esta aproximación inductiva es el camino que resta cuando no hay un determinismo de las preferencias sobre las acciones, pero tampoco una transparencia completa, sino sólo translucidez.

Sin embargo, en un mundo de agentes translúcidos se vuelve a presentar la recursividad propia de las situaciones estratégicas. Un jugador J1 no puede en rigor considerar que lo que otro jugador, J2, vaya a hacer será sin más una prolongación de lo que J2 ha hecho en el pasado, sino que será fundamentalmente resultado *de lo que J2 crea que J1 hará*, y todo ello, a su vez, sabiendo que J2 razonará de este mismo modo (contando además con la posibilidad de que las expectativas de cualquiera de los dos estén erróneamente formadas). Dicho de otro modo, si J1 quiere predecir la próxima jugada de J2 habrá de tener en cuenta no sólo el historial de J2, sino también el suyo propio. Bajo los postulados que subyacen a la teoría de juegos convencional, sabemos que hay formas de romper con esta circularidad: empleando estrategias mixtas o recurriendo a las sucesivas actualizaciones bayesianas del EBP²⁷⁸, según conste el juego de uno o varios movimientos, respectivamente. Pero tal como quedó dicho en el epígrafe anterior, estas soluciones no son aplicables en este otro marco de las simulaciones, mucho menos ideal. ¿Qué tipo de predicción en absoluto podría hacer un jugador?

Todas estas especulaciones se disolverían si los agentes fuesen transparentes y supiesen sin más qué hará el otro. No importa ahora la explicación de cómo sería esto empíricamente posible. Los agentes artificiales del modelo de Danielson son perfectamente transparentes porque pueden leer una estrategia ajena, ejecutarla y calcular así lo que su oponente hará. Son literalmente capaces de “encarnarse” en el otro. Sin embargo, este artificio sólo tiene garantizado su éxito cuando los movimientos del juego son sucesivos, como por ejemplo el Dilema del Prisionero Extendido (DPE)²⁷⁹, y Danielson se percata de que esta misma técnica, aplicada a un juego simultáneo conduciría a definiciones serán circulares²⁸⁰. En este sentido recoge las críticas de Campbell y Smith para hacernos ver que cuando se trata de tomar decisiones simultáneas, a los individuos transparentes —ya sean algoritmos de un programa o un sujeto real— se les presentará un serio problema de procedimiento para tomar sus decisiones:

²⁷⁸ Este procedimiento quedará explicado en el capítulo 4.4.

²⁷⁹ Cfr. Danielson, 1992, pp. 21 – 22.

²⁸⁰ Cfr. Danielson, 1992, p. 79

The first question is whether ‘constrained maximization’ has a clear meaning and one that has a clear application in the basic PD decision problem. One may have doubts on this score. [...] If a CM [maximizador restringido] believes that the other party will cooperate, then the CM will too; otherwise not. Isn’t there a problem of circularity? [...] I am disposed to cooperate if you will. You are disposed to cooperate if I will. But that doesn’t settle what each of us will do. [...] We seem to be led to an impasse.²⁸¹

Let’s simplify matters by assuming that you have already chosen CM, and of course I know this. What should I predict you will do if I choose CM? Gauthier seems to assume that I may simply predict that you will form the intention to co-operate. But matters are much more complex than this. Given your choice of CM, what I *can* predict is that you will co-operate if and only if you predict that I will co-operate. But how can I assume you can make this prediction about me? [...] Even if you know that I choose CM, all you can infer from this is that I will co-operate *if and only if* I predict you will co-operate. You cannot infer that I will co-operate, simpliciter.²⁸²

A juicio de Danielson, Smith está presentando aquí una razón más profunda por la cual los cooperadores condicionales caerían en una incoherencia, una razón relacionada con la concepción de Gauthier del maximizador restringido como una forma de imparcialidad moral o equidad. El problema es que un cooperador condicional pide al otro jugador más de lo que él está dispuesto a ofrecer: el cooperador condicional pide cooperación, pero por su parte sólo ofrece una disposición condicional. Aunque Gauthier sostiene que “un maximizador restringido no es más difícil de construir que un maximizador directo”²⁸³, Danielson afirma que los cooperadores condicionales exigen más seguridad de la que ofrecen²⁸⁴, y entiende que

Gauthier underestimates the procedural complexities that his conditional principle introduces, even for artificial players. [...] The compliance problem requires that if constrained maximizers are to be rational they must be responsive. But for responsive players to co-operate together, they must interact in ways entirely different from straightforward maximizers. As we saw, in the XPD [DP extendido o sucesivo], responsive agents need to execute each other’s decision procedures. However, [this] obvious way to construct a conditional co-operator for the simultaneous DP [...] *is incoherent*.²⁸⁵

²⁸¹ Campbell, 1988, p. 350.

²⁸² Smith, 1991, p. 240.

²⁸³ *Cfr.* Gauthier, 1988, p. 417

²⁸⁴ *Cfr.* Danielson, 1992, p. 80.

²⁸⁵ Danielson, 1992, pp. 80 – 81.

Donde Danielson dice “incluso para jugadores artificiales” habría que decir *incluso para jugadores naturales*: estos problemas no se deben a limitaciones en la programación de ciertos algoritmos en un ordenador, sino que son intrínsecos a la naturaleza estratégica de estas situaciones. En lo que respecta a agentes artificiales, la solución que encuentra Danielson consiste en conocer la disposición o *estrategia* del otro jugador, y no lo que *hará*.

The incoherence problem is caused by players trying to predict each other's behaviour by invoking the other's decision procedure. [...] This suggests a way out of the problem: design players who forsake prediction by direct simulation for a cruder similarity test based on matching *mentioned* principles. The metalogical device of quotation will allow me to design coherent symmetrical conditional strategies for the simultaneous game.

I begin with a procedurally simple strategy of matching self with other and work up to more complex varieties. Consider the elementary matching principle:

Selfsame Co-operation (SC): co-operate with and only with players similar to oneself.

How does a selfsame cooperator solve the coherence problem? First she addresses the assurance problem by not demanding more constraint from the other player than she is willing to offer herself. [...] A SC player need not know that the other player will co-operate, but only that the other is similar [...] SC is conditional on the other player's strategy, not its behaviour.²⁸⁶

La conclusión que podemos extraer de este argumento es que deberíamos abandonar la idea de que un jugador condicional o sensible queda esencialmente caracterizado como un jugador que actúa según lo que cree que *hará* el otro. Una predicción estratégicamente perfecta no es posible ni siquiera con agentes completamente transparentes²⁸⁷. Por tanto, si en mi modelo los agentes no son transparentes eso no significa que se tengan que conformar con hacer predicciones meramente aproximadas de la respuesta del otro, basadas en sospechosos procedimientos inductivos. Su limitación reside en que no pueden leer el algoritmo del otro jugador. Son translúcidos, y no transparentes, en el sentido de que deben deducir la *disposición* del otro a partir de sus conductas efectivas. Pero esto ya es suficiente para que no se produzca un problema de recursividad: observar el historial del otro jugador no implica la necesidad de atender también a cómo el otro jugador observa nuestro historial. En definitiva, el observar

²⁸⁶ Danielson, 1992, pp. 81 – 82.

²⁸⁷ Debo insistir en recordar que sí es posible dentro de los límites más estrechos de la teoría de juegos convencional, donde la estructura de los pagos y ciertos postulados de racionalidad determinan la decisión.

ciertos movimientos, cuantificarlos y extraer una cierta medida promedio de los mismos, producirá una reacción a esos comportamientos pasados, pero no supone ningún tipo de predicción o anticipación. Simplemente se trata de una función que incorpora las conductas ajenas para devolver otra conducta, dependiente de aquellas.

Sin embargo, ya había indicado en el epígrafe anterior que en ocasiones puede resultar natural interpretar ciertas sucesiones de movimientos como si los jugadores estuviesen haciendo una anticipación inteligente. En efecto, puede observarse durante el desarrollo de muchos juegos —muy notablemente cuando las poblaciones han alcanzado una estabilidad— que las entradas y salidas de datos se vinculan de un modo tal que semejan la relación que se verificaría en una estrategia que intentase responder de manera racional (maximizadora o incluso moral) a ciertas series de jugadas anteriores. Se llega pues a casos en los que se dan, si podemos expresarlo así, predicciones precisas de las conductas ajenas, aun sin que ese fuese el *propósito*. Pero hay que insistir en que esto es sólo una cuestión de interpretación por parte del observador externo (el usuario, a falta de esta capacidad en los propios agentes artificiales). Y lo cierto es que para una misma conducta observable siempre hay más de una interpretación posible acerca de cómo una estrategia ha desembocado en esa decisión. Sólo rastreándolo en los diferentes parámetros que definen una función, el usuario puede darse una idea de lo que realmente ha ocurrido en el “proceso de decisión”, aunque esto es algo que los propios agentes del juego no pueden saber unos de otros. Por ejemplo, supongamos que J1 y J2 tienen que interactuar en un DP. Se sabe que J1 ha cooperado siempre (incluso con quienes le han defraudado) y que J2 ha cooperado con quienes han cooperado con él, y defraudado a quienes le han defraudado. Y supongamos, finalmente, que el resultado de la interacción es que J1 coopera y J2 defrauda. Una lectura posible sería decir que J2 tiene la disposición de un cooperador condicional, aunque en este caso no haya conseguido identificar como tal a J1 (pese a la evidencia). Pero también podría ser el caso que J2 cooperase en el pasado porque reconocía correctamente a otros *cooperadores condicionales*, y pudiendo ahora aprovecharse de J1 —quien parece cooperar *incondicionalmente*— detecta correctamente su supuesta regla de decisión y lo explota.

Aunque éstas son dos interpretaciones con sentido, quisiera terminar esta sección examinando otra posible lectura, que servirá como reflexión acerca del concepto de *disposición*, ya sea en individuos naturales o artificiales. Podría haber ocurrido que J1, en lugar de un cooperador incondicional, era realmente un cooperador *condicional*, muy torpe, eso sí, a la hora de detectar las estrategias de aquellos que al final le defraudaron (incluyendo J2). De lo cual se desprende que sólo por una casualidad ha conseguido J2 sacar provecho de J1. Pero la hipótesis de que este desenlace sea una mera coincidencia no resulta muy verosímil, pues realmente no tiene sentido hablar de una *disposición* —en este caso la cooperación condicional— si el agente

que la adopta se equivoca sistemáticamente en sus conclusiones, y por tanto también en las conductas que cabrían esperar de su disposición. Esto tiene que ver con la *sinceridad* que por definición hace que una determinada disposición sea realmente tal. Se trata de un aspecto crucial en la justificación última que da Gauthier para que la moralidad sea racional, idea sobre la cual volveremos al finalizar el capítulo 5. Centrándonos por ahora en las particularidades de la moralidad artificial, la conclusión con la que cerraremos este capítulo es que en un mundo translúcido (no *transparente*) una disposición auténtica no puede fundarse sólo en la “buena intención” de querer ser un maximizador restringido (o cualquier otra estrategia que deseemos considerar). Además de esa buena voluntad hace falta cierta efectividad, tanto a la hora de identificar a otros como para dar a conocer la propia disposición.

Así, concluido este recorrido por diversos tipos de simulaciones, y habiendo especificado en particular cuáles son las características que definen el funcionamiento del modelo que propongo, podemos pasar a los experimentos virtuales concretos. Éstos servirán como herramienta de análisis para la discusión en torno a las relaciones entre moralidad y elección racional. Además de las conclusiones que Axelrod, Danielson y Skyrms extraen de sus simulaciones, compararemos estos resultados con los que proporciona la herramienta *Bichos*.

4. Experimentos con modelos informáticos: la formalización de la teoría de juegos llevada a mundos virtuales

4.1 Introducción

El propósito de este capítulo es exponer los resultados obtenidos con la simulación *Bichos* aplicada a diferentes situaciones, que formalizadas desde la teoría de juegos representan diversos tipos de conflicto —al menos parcial— entre la racionalidad instrumental y la moralidad. Dichos resultados serán asimismo contrastados con los que proporcionan otras simulaciones, por un lado, y con las predicciones de la TJE, por otro. Esto servirá para verificar el grado de precisión de *Bichos* como modelo dinámico, así como para analizar nuevos patrones evolutivos no previstos hasta el momento por la teoría ni encontrados por otros modelos ya conocidos. Además de la propia estructura de pagos que define los diferentes juegos, el estudio de cada uno de éstos se realizará bajo una variedad de condiciones (territorialidad, iteraciones, reglas de transición) que afectan al modo en que las conductas cooperativas —o más en general, las conductas orientadas al menos en parte a los intereses ajenos— surgen y se mantienen. Enumero a continuación los juegos cuyas simulaciones estudiaremos en este capítulo, con una breve explicación de sus características y el propósito de su análisis.

4.2 Gallina ²⁸⁸ (Chicken, The War of Attrition, Hawk and Dove ²⁸⁹ , Snow Drift Game)	Este juego servirá para formalizar las nociones de estrategia mixta y estrategia evolutivamente estable. El primero concepto es fundamental en teoría de juegos ya desde sus inicios con von Neumann y Morgenstern. El segundo, introducido mucho más recientemente por Maynard Smith (1973), es la piedra angular de la teoría de juegos <i>evolutiva</i> .
4.3 Dilema del prisionero (Prisoner's Dilemma, Tragedy of the Commons)	Sin duda el juego más extensamente estudiado como modelo del conflicto entre moralidad y racionalidad instrumental, lo abordaremos bajo la perspectiva de los diversos factores que afectan a sus posibles soluciones: reputación, territorialidad, reglas de aprendizaje, etc. Nos servirá también para presentar una variante mucho menos conocida del mismo, en la cual el abanico de opciones es <i>continuo</i> .
4.4 Partir la tarta (Divide the Cake, Divide the Dollar)	Skyrms toma este juego de negociación como un modelo sencillo para explicar el origen evolutivo de ciertas intuiciones acerca de la justicia distributiva. Sin embargo, tendremos ocasión de ver que da lugar a cuestiones más complejas, relativas al problema de la selección de equilibrios y el concepto de conocimiento común (<i>common knowledge</i>).
4.5 Ultimátum (Ultimatum, Take It or Leave It)	Este juego es la versión en forma extendida (con movimientos sucesivos) del juego Partir la Tarta. Servirá para presentar el concepto de racionalidad modular o secuencial.
4.6 Trust Game	Es la formalización de una clase de situaciones que más frecuentemente manifiesta los llamados dilemas morales de la vida cotidiana. Básicamente se trata del dilema que se presenta cuando es necesaria la confianza mutua entre diversos individuos para alcanzar un beneficio común. En lo que atañe al modelo informático, cabe destacar la peculiaridad de que la población está compuesta por dos tipos de individuos, que juegan papeles totalmente diferentes.
4.7 Caza del venado (Stag Hunt)	En la opinión de Skyrms es este juego, más que el DP o el Trust Game, el que mejor retrata el problema que presenta Hobbes en su teoría del contrato social. Se trata pues de un modelo que permite ver la salida de un hipotético estado de naturaleza como resultado de un proceso evolutivo; proceso que también puede interpretarse como la formación espontánea de ciertas convenciones, más que un pacto deliberado.

²⁸⁸ Tal vez los nombres aislados resulten algo extraños, pero éstas son las denominaciones más habituales con que se conocen estas situaciones en la literatura de la teoría de juegos. Incluyo entre paréntesis los nombres en inglés, sobre todo porque en ocasiones han recibido más de uno.

²⁸⁹ Maynard Smith presenta este juego con una caracterización abstracta de los pagos que lo definen. Dependiendo de los valores concretos que adquieran éstos, resultará el juego del Gallina o el Dilema del prisionero.

4.2 Maynard Smith, halcones y palomas, y la “guerra de desgaste”

En el capítulo 2 de *Evolution and the Theory of Games* Maynard Smith se vale del juego que denomina “Halcón y paloma” para introducir su aplicación de la teoría de juegos al análisis de la evolución del comportamiento animal. Este juego, que el autor propone como modelo matemático de una situación en la que dos animales compiten por recursos limitados, presenta una exposición algo abstrusa, pero equivale en último término al DP, que nos resulta mucho más familiar y sencillo de entender²⁹⁰. Maynard Smith se vale de este modelo para introducir los conceptos claves de la teoría de juegos evolutiva, esto es, la “estrategia evolutivamente estable” y la ecuación “replicator dynamics”²⁹¹. Sin embargo, pasaremos al juego que el autor presenta en el capítulo 3 bajo el título “Guerra de desgaste” (*The war of attrition*). En realidad, veremos en seguida que Maynard Smith se refiere a este modelo en los mismos términos de “halcones y palomas”. No se trata simplemente de conservar un vocabulario uniforme, sino que originalmente define el juego en una forma abstracta, que dependiendo del valor concreto que se dé a los pagos, dará lugar al DP o al Gallina. En este último caso, Maynard Smith lo bautiza como “Guerra de desgaste”. Expondré primero la naturaleza de este juego, e inmediatamente después explicaré por qué tomo éste, y no el DP²⁹² (más simple y mejor conocido) como primera demostración de las posibilidades y la precisión de *Bichos* como modelo. Al igual que en el modelo “halcón y paloma”, la presentación de Maynard Smith no es muy simple ni directa, pero valdrá la pena reproducirla con sus detalles, para después reducirla al juego del Gallina.

In the last chapter, I assumed that two ‘Doves’ competing for a resource worth V could share the resource²⁹³. There will be many cases in which it will not be worth while to share a resource. For example, suppose two animals compete for a territory [...].

Let N = expected offspring to the owner of the territory,
 kN = expected offspring to the owner of half the territory ($k < 1$),
 n = expected offspring to an animal who does not compete but
 instead sets up a territory in a less satisfactory habitat ($n < N$).

[...] Suppose [...] that $V = N - n$, and that the contest is settled without escalation. That is, the contestants display, and the owner is the one which persists longest.

²⁹⁰ Cfr. Maynard Smith, 1977, pp. 11 – 12

²⁹¹ Cfr. *supra* 1.3.2 y 3.3.1.

²⁹² HD en la versión de Maynard Smith.

²⁹³ Cfr. Maynard Smith, 1977, cap. 2. “Dove” (la paloma) equivale a la estrategia “cooperar” en el DP. Compartir el recurso (un territorio, por ejemplo) tiene su correlato en la cooperación mutua, en principio inalcanzable en el DP.

[...] I assume [...] that the cost of displaying²⁹⁴ increases with the length of the contest and is the same for the two contestants. The only choice open to an individual is to select a length of time for which he is prepared to continue, and an associated cost, m , he is prepared to pay. Thus if the two contestants, A and B , select costs m_A and m_B , respectively, the winner will be the one selecting the higher cost; however, he will not have to pay that cost, because the length of the contest is determined by the loser. Thus the payoffs are²⁹⁵:

Tabla 8

	Player A	Player B
$m_A > m_B$	$V - m_B$	$- m_B$
$m_A = m_B$	$(V / 2) - m_B$	$(V / 2) - m_B$
$m_A < m_B$	$- m_A$	$V - m_A$

Para simplificar y resumir el resto de la exposición de Maynard Smith, supondremos que cada jugador puede escoger entre dos opciones, correspondientes a dos períodos limitados de tiempo, uno mayor que el otro ($M > m$) durante el cual “se exhibirán”. Así, m_A y m_B tomarán alguno de estos dos valores.

Para un ejemplo concreto, consideremos ahora los siguientes valores: $V = 6$, m (coste menor) = 1, M (coste mayor) = 5, de lo cual resultará la siguiente matriz de pagos²⁹⁶.

Tabla 9

		Jugador B	
		“Exhibirse mucho” (M_B)	“Exhibirse menos” (m_B)
Jugador A	“Exhibirse mucho” (M_A)	-2 ; -2	5 ; -1
	“Exhibirse menos” (m_A)	-1 ; 5	2 ; 2

Añadiendo dos unidades a cada pago realizamos una transformación lineal de las funciones de utilidad de ambos jugadores, lo cual deja intacta la estructura del juego, pero facilita su interpretación al evitar los valores negativos (en *Bichos* los pagos sólo pueden ser positivos):

²⁹⁴ El término “displaying” significa aquí la exhibición de fuerza sin llegar a la lucha, observada con frecuencia en el comportamiento de animales que compiten por un recurso. Me referiré a esta acción como “exhibirse” o también, aunque suene menos técnico, “pavonearse”.

²⁹⁵ Maynard Smith, 1977, pp. 28 – 29

²⁹⁶ Es importante notar que si $M \leq (V / 2)$ el juego resultante sería un DP. Puesto que ahora no queremos ocuparnos del mismo, he escogido estos valores, de manera que $M > (V / 2)$. Véase al respecto Maynard Smith (1977, p. 12) donde el autor muestra, a la inversa, cómo su modelo original equivalente al DP (Halcón y paloma) se transforma en el juego del Gallina cuando se mantienen estas proporciones entre los valores de los pagos.

Tabla 10

		Jugador B	
		“Exhibirse mucho” (M_B)	“Exhibirse menos” (m_B)
Jugador A	“Exhibirse mucho” (M_A)	0 ; 0	7 ; 1
	“Exhibirse menos” (m_A)	1 ; 7	4 ; 4

Quien conozca el juego del Gallina podrá reconocer que no es otra cosa lo que Maynard Smith presenta en esta ocasión. El lector que no esté familiarizado con el mismo encontrará enseguida una exposición del mismo.

En los capítulos previos, cuando hemos tenido que mencionar algún juego a modo de ejemplo, casi siempre nos hemos referido al DP, sin duda la más célebre de las situaciones que desde la teoría de juegos permiten estudiar típicamente el conflicto entre racionalidad (entendida como auto-interés) y moralidad (altruismo). Sin embargo, tomaré este otro juego como primer caso para analizar en este capítulo, por los siguientes motivos:

- 1) El juego del Gallina presenta un caso paradigmático de situación estratégica en su sentido más riguroso, esto es, que la estrategia óptima de un jugador depende necesariamente de la elección del otro jugador, y ésta, a su vez, depende de lo que el segundo jugador estima que hará el primero.
- 2) Esta dependencia mutua nos llevará al concepto de estrategia mixta, hasta el momento sólo mencionado de manera marginal²⁹⁷, pero que aquí introduciré formalmente.
- 3) Por su parte, el concepto de estrategia mixta servirá para acercarnos al equilibrio de Nash —cuya exposición precisa también hemos venido postergando hasta el momento— y con él pasaremos también a la noción de “estrategia evolutivamente estable”, equivalente al equilibrio de Nash para la teoría de juegos evolutiva²⁹⁸.
- 4) Finalmente, este juego en particular como primer análisis de una simulación en concreto, responde al objetivo de comenzar con un test lo más exigente posible para mi simulación. En efecto, en 3.3.3 habíamos visto las dificultades que se presentaban a la hora de representar Replicator dynamics en una población donde las interacciones son sólo locales (no “todos contra todos”). Pero además, en un juego cuya solución requiere en una estrategia mixta, precisamente porque no hay *una* estrategia óptima, habrá que calcular la *proporción* en la que deberían escogerse aleatoriamente las estrategias

²⁹⁷ Cfr. *supra* 1.2.1.

²⁹⁸ Cfr. *supra* 1.3.2

disponibles. Llevando la teoría de juegos al terreno evolutivo, este cálculo se convierte en una predicción sobre la cantidad relativa de individuos que en una población emplearán una cierta estrategia. La necesidad de identificar esta frecuencia con exactitud es lo que hace de este juego en particular un test exigente para el modelo.

En los siguientes epígrafes (4.2.1 – 4.2.5) iremos desglosando los puntos de este esquema que acabo de trazar.

4.2.1 El juego del Gallina

Para terminar de comprender qué es lo esencial en este juego convendrá contar la historia de la que toma su nombre. De las numerosas versiones existentes tomo aquí la de Danielson:

‘Chicken’ denotes a notorious teenage ritual, one form of which was portrayed in the film *Rebel Without a Cause*. Two players drive together toward a cliff. The alternatives are to ‘chicken out’ by breaking or to continue. The driver who chickens out first loses face, and the other wins. Of course if *both* continue, both do the worst possible: driving off the cliff.²⁹⁹

El jugador que frena primero es por tanto el *gallina* (cobarde, miedoso, etc.). Para emplear la terminología que nos resulta familiar, procedente del DP, diremos que la opción de frenar es “cooperar” y la de seguir adelante representa “defraudar”. A diferencia del DP, aquí ocurre que el peor resultado posible para cualquiera de los dos jugadores se obtiene a consecuencia del fraude mutuo. En este juego resulta incluso preferible hacer el papel del “tonto” o “el primo”, según se suele denominar en el DP a quien coopera unilateralmente. Por último, debemos añadir a la cita de Danielson que si ambos jugadores cooperan (apartarse) los dos obtienen —ahora sí al igual que en el DP— su segundo mejor resultado posible: ambos resultan igualmente cobardes (o valientes) pero en cualquier caso siguen vivos. Para concluir la historia y completar la equivalencia entre Gallina y el modelo de Maynard Smith, podemos ahora volver a la tabla 10, y sustituir “M” por “seguir adelante” y “m” por “apartarse”.

²⁹⁹ Peter Danielson, 1992, p. 166. Otros relatos cuentan que los dos coches avanzan a toda velocidad el uno hacia el otro, con lo cual el desastre no es caer por el acantilado, sino una colisión frontal. En cualquiera de los casos valen las expresiones “apartarse” y “seguir adelante” como rótulos para las opciones que tienen los jugadores, equivalentes a cooperar y defraudar, respectivamente. Por consiguiente emplearé “apartarse” en lugar de “frenar”.

4.2.2 Estrategias mixtas

Pero lo que diferencia característicamente al Gallina del DP es que no disponemos de una estrategia dominante: no existe una opción que *siempre* nos proporcione un resultado mejor que la otra alternativa, *independientemente* de lo que haga el otro jugador haga³⁰⁰. En efecto, si supiésemos o creyésemos que el otro seguirá adelante, entonces es mejor para nosotros apartarnos, evitando así la muerte, pero si suponemos que él se apartará, entonces nos conviene seguir adelante, ganando así el desafío. Obviamente, la misma incertidumbre se le presenta al otro jugador respecto de nuestro comportamiento. En principio, pues, parece que nos hallamos ante una regresión infinita, donde nadie puede tomar una decisión óptima (racional) debido a la permanente referencia mutua de las acciones de los jugadores a las intenciones del otro.

There is a way out of this trap and it leads to a general solution for games of this type. Suppose that instead of picking your strategy directly you choose it by means of a chance mechanism that can yield any of the [two] possible strategies. [Por ejemplo, podríamos lanzar una moneda]. In effect you have adopted a strategy that is a mixture of your original strategies and that, when played against any strategy of your opponent's, yields an equal chance of the outcomes determined by your original strategies.

[...] By picking a mixed strategy you also defuse your opponent's power to read your mind. For once you have decided on a mixed strategy, you can turn the rest of the game over a suitably constructed machine³⁰¹. [...] Since you would have chosen no specific strategy prior to turning the machine on, and since once the machine is on you have no further choices to make, it would be impossible for your opponent to choose a winning counterstrategy by reading your mind.³⁰²

Además de impedir que el otro jugador anticipe cuál será nuestra estrategia adoptada, hay otra idea subyacente al concepto de estrategia mixta. Se trata también de determinar las probabilidades con las que escogeremos las diversas estrategias, de manera tal que la utilidad esperada por el otro jugador sea la misma para todas sus estrategias posibles. El objetivo, en definitiva, es dejar al otro jugador indiferente acerca de qué opción escoger. Y el otro jugador, por su parte, también emplea estrategias mixtas. Para ambos es indiferente elegir cualquiera de sus estrategias, y por ello no es irracional decantarse por cualquiera de ellas mediante una lotería.

³⁰⁰ Es importante matizar que la idea de estrategia dominante (y por extensión las de estrategia dominada y débilmente dominada) es aplicable también a situaciones paramétricas, es decir, aquellas donde tomar la decisión no depende de las expectativas mutuas que los jugadores se hacen acerca de sus respectivas estrategias, sino que dependen simplemente de acontecimientos determinados sin más por la "naturaleza". Sin embargo, aun cuando no exista una estrategia dominante, siempre será posible escoger una de ellas aplicando alguno de los criterios de elección que tuvimos ocasión de ver en 3.3.1.

³⁰¹ Una máquina tan simple como tirar una moneda, pongamos por caso.

³⁰² Resnik, 1987, pp. 132 – 134. Para más detalles véase este epígrafe completo y el que le sigue (pp. 132 – 140) donde Resnik expone el concepto de estrategia mixta aplicándolo al análisis concreto del juego "piedra, papel y tijera".

En concreto, para el caso que acabo de proponer, el equilibrio consistirá en que el jugador A escoja la estrategia M_A con probabilidad $p = 0,75$ y la estrategia m_A con probabilidad $p = 0,25$. Del mismo modo, puesto que la matriz de pagos es simétrica, el jugador B elegirá la estrategia M_B con probabilidad $q = 0,75$ y la estrategia m_B con probabilidad $q = 0,25$.³⁰³

Si queremos verificarlo brevemente, podemos constatar que la utilidad esperada de cualquiera de las dos estrategias es 1,75 para el jugador A. Si q y $1 - q$ son las probabilidades con las que el jugador B seleccionará sus estrategias puras, calculamos del siguiente modo la utilidad esperada que proporcionan al jugador A sus dos estrategias posibles:

$$\begin{aligned} u(M_A) &= 0 \cdot 0,75 + 7 \cdot 0,25 = 1,75 \\ u(m_A) &= 1 \cdot 0,75 + 4 \cdot 0,25 = 1,75 \end{aligned}$$

Evidentemente doy por conocida la solución del juego, pero no he explicado aún cómo se calculan las probabilidades con las que deberíamos jugar nuestras estrategias para dejar al otro jugador indiferente entre sus opciones. Se trata de una mera cuestión de álgebra, que en nuestro caso particular, con dos estrategias disponibles, consistiría en resolver la ecuación:

$$p \cdot 0 + (1 - p) \cdot 7 = p \cdot 1 + (1 - p) \cdot 4$$

Obviamente, los valores 0, 7, 1 y 4 son los pagos del *otro* jugador. Una exposición más técnica de este cálculo, con la forma general para juegos con cualquier número de estrategia puede encontrarse en cualquier manual de teoría de juegos, entre los que cabe recomendar *Games and Decisions* de Luce y Raiffa³⁰⁴, *Choices* de M. Resnik, o la propia obra de von Neumann y Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*³⁰⁵, a la cual remiten en último término las otras dos anteriormente mencionadas. Aunque estos análisis se centran específicamente en juegos de dos jugadores y suma cero —más concretamente en el teorema minimax de von Neumann y Morgenstern— son suficientes para dar cuenta del concepto de estrategia mixta. Posteriormente Nash ampliará la aplicación de esta solución a juegos con más de dos jugadores y suma no cero, según veremos en 4.2.4 tras unas pocas puntualizaciones.

³⁰³ La simetría en los pagos no es una condición para la obtención de estrategias mixtas.

³⁰⁴ Cfr. Luce y Raiffa, 1957, pp. 68 – 76.

³⁰⁵ Cfr. von Neumann y Morgenstern, 1947, pp. 143 – 148. Sin duda son estas páginas mucho más áridas que la lectura de Resnik o Luce y Raiffa, pero conviene en cualquier caso mencionarlas, al menos desde un punto de vista histórico, por contener la primera formulación axiomatizada del concepto de estrategia mixta.

4.2.3 Tres observaciones sobre el concepto de *estrategia mixta*

Para concluir con esta exposición informal del concepto de estrategia mixta, y la importancia que tiene en el análisis general de la teoría de juegos, quisiera añadir tres breves observaciones.

1) En realidad, la noción de estrategia mixta incluye como un caso particular el de estrategia dominante. Una estrategia dominante consistiría en aplicar una estrategia mixta escogiendo con probabilidad $p = 1$ dicha estrategia dominante.

2) Este juego del Gallina, cuyo punto de equilibrio se encuentra en estrategias mixtas, sirve de paso para destacar también el papel fundamental que tiene en la teoría de juegos la noción de *conocimiento común*³⁰⁶, aspecto éste que ha sido especialmente subrayado por Harsanyi:

[...] as we are dealing with game situations, when the players are assumed to act on the expectation of rational behavior by all other players, we have to go beyond the standard Bayesian approach. Instead of allowing player i to choose his subjective probabilities in any arbitrary way that may occur to him, we must require that the subjective probabilities that he assigns to various possible actions by player j should be consistent with the assumption that player j , like player i himself, will act in a rational manner in playing the game. We will call this requirement the *principle of mutually expected rationality*.³⁰⁷

Podemos razonablemente dudar de que este principio de la racionalidad mutuamente esperada sea adecuado en el contexto de la teoría de juegos *evolutiva*, por cuanto ésta opera con agentes que distan de ser idealmente racionales (o por lo menos no tienen por qué serlo). Sin embargo, lo que la teoría de juegos evolutiva viene a mostrar —y pronto lo confirmaremos con una primera simulación— es que las estrategias evolutivamente estables son mantenidas por mecanismos de selección natural, llegando a resultados similares a los que alcanzarían jugadores que realmente conociesen no sólo las funciones de utilidad propias y ajenas, sino también la racionalidad maximizadora de ambos.

3) Es preciso notar que el uso de estrategias mixtas sólo se justifica racionalmente cuando *ambos* jugadores carecen de estrategias puras. Supongamos el siguiente caso, en el que el jugador 1 no dispone de una estrategia dominante, *pero el jugador 2 sí* (la estrategia A).

Tabla 11

		J 2	
		Estrategia A	Estrategia B
J 1	Estrategia A	0 ; 6	2 ; 1
	Estrategia B	2 ; 7	0 ; 3

³⁰⁶ De este concepto me ocuparé con más detenimiento en el capítulo 4.4.

³⁰⁷ Harsanyi, 1977, pp. 11 – 12

En este caso, puesto que la racionalidad de ambos jugadores es conocimiento común, aunque J1 no dispone de una estrategia dominante, *sabe* que para J2 la estrategia A sí es dominante. Y por ello, sabiendo que J2 escogerá A, J1 puede concluir que para él será racional escoger la estrategia B (pues $2 > 0$).

En *Bichos* no se da por supuesto el conocimiento común de la racionalidad maximizadora, básicamente porque existe un número potencialmente infinito de estrategias (entendidas aquí como *disposiciones*) que no son racionales. Sin embargo, cuando en la ventana de pagos (**Pay offs**) se obtiene la solución de un juego, este resultado *sí* se alcanza bajo el supuesto de la racionalidad mutuamente esperada. Pero esto es sólo un punto de referencia para el usuario, que permite posteriormente interpretar qué estrategias están aplicando una regla racional (maximizadora), y cuáles no³⁰⁸.

4.2.4 El equilibrio de Nash y el concepto de *Estrategia evolutivamente estable*

Veamos por fin en qué consiste el concepto de “estrategia evolutivamente estable” (EEE, *evolutionary stable strategy = ESS*) concebido por Maynard Smith. Como ya hemos reiterado, la EEE equivale en un contexto evolutivo a la función que el equilibrio de Nash tiene en la teoría de juegos convencional, por lo cual no estará de más recordar brevemente esta noción de equilibrio. En un escueto artículo de 1950, “Equilibrium Points in n-Person Games”, Nash demuestra la existencia de al menos un punto de equilibrio (con estrategias puras o mixtas) para cualquier juego finito, proporcionando así un mayor grado de generalidad al teorema minimax de von Neumann y Morgenstern. Nash presenta la prueba muy condensadamente, y requiere para su comprensión cierta familiaridad con algunos tecnicismos matemáticos (en particular, se funda en el teorema del punto fijo de Kakutani)³⁰⁹. A juicio de Binmore es “perhaps the most important tool that game theorists have at their disposal”³¹⁰. De todos modos, ni la importancia del hallazgo, ni la dificultad y el ingenio de su *demonstración*, impiden que la idea en sí misma sea muy sencilla de entender, y puede expresarse en los siguientes términos:

³⁰⁸ Para más detalles véase el Apéndice A, epígrafes 2 y 3.

³⁰⁹ *Cfr.* Nash, 1950a, pp. 48 – 49. Lo que afirma el teorema del punto fijo es que para una función F , siempre hay un punto x tal que $F(x) = x$.

³¹⁰ Binmore, 1992, p. 12

A strategy pair (s, t) in which s is an optimal response to t and t is an optimal response to s is called a *Nash equilibrium* for a two person game³¹¹. [...] Any strategy pair without this property is “self-destabilizing” in the sense that at least one player would not follow a recommendation to play according to such a strategy pair if he or she thought the other player *would* follow the recommendation.³¹²

Y a esta caracterización informal podemos añadir la puntualización de Skyrms al respecto:

Such an equilibrium would be even more compelling if it were not only true that one could not gain by unilaterally deviating from it, but also that on such a deviation one would definitely do worse than one would have done at equilibrium. An equilibrium with this additional stability property is a *strict Nash equilibria*.³¹³

Dicho de otro modo, la idea central es que ningún jugador puede mejorar su resultado cambiando unilateralmente de estrategias. Conviene ampliar esta base conceptual con una serie de observaciones:

- Puede que para un cierto juego no exista un par (s, t) de estrategias *puras*, pero el teorema de Nash sí garantiza que al menos habrá una estrategia mixta (un equilibrio que conste de estrategias puras será un caso particular de estrategia mixta).
- Algunos juegos pueden tener más de un equilibrio de Nash. La existencia de más de un equilibrio no reduce en absoluto la generalidad y la precisión de este concepto, pero presenta dificultades desde un punto de vista normativo a la hora de prescribir al agente maximizador qué estrategia escoger. En el análisis del juego “Partir la tarta” (4.4) Skyrms pone de relieve este inconveniente, aunque parece obviar el hecho de que en tales casos es posible seleccionar un equilibrio mediante el uso de estrategias mixtas. Otras situaciones donde los múltiples equilibrios de Nash sí representan un inconveniente aparecen en juegos en forma extensiva, cuando algunos equilibrios son el resultado de acciones secuencialmente irracionales³¹⁴.
- El equilibrio de Nash no tiene por qué coincidir con un resultado óptimo, ni para uno ni para los dos (o n) jugadores. Por ejemplo, en el DP, el punto de equilibrio viene dado por el fraude de ambos jugadores, mientras que la cooperación por parte de ambos es inestable: cada uno mejoraría su posición si abandonase la estrategia cooperativa y pasase a defraudar.

³¹¹ Podría tratarse igualmente de juegos con más de dos jugadores, en cuyo caso el equilibrio constaría no de un par, sino de tantas estrategias como jugadores intervengan en el juego $(s, t, u, \text{etc.})$.

³¹² Binmore, 1990, p. 53

³¹³ Skyrms, 1996, p. 6

³¹⁴ Como solución para este problema Selten propone el concepto de “equilibrio perfecto”, según veremos en los capítulos 4.4 y 4.5 (Skyrms lo llamará racionalidad modular).

Hechas estas acotaciones, podemos ahora por fin pasar al concepto de estrategia evolutivamente estable (“evolutionary stable strategy” = ESS) que según ya hemos anticipado, es la forma en que Maynard Smith extiende el equilibrio de Nash a juegos evolutivos.

A ‘strategy’ is a behavioural phenotype; i.e. it is a specification of what an individual will do in any situation in which it may find itself³¹⁵. An ESS is a strategy such that, if all the members of a population adopt it, then no mutant strategy could invade the population under the influence of natural selection³¹⁶.

La formalización de esta definición permite enlazar la idea de ESS con el equilibrio de Nash. La estrategia x es una ESS si, para cualquier estrategia y diferente de x , y dada la función de utilidad u —siendo $u(x, y)$ la utilidad que proporciona “jugar” x contra y — se cumple que:

1. $u(x, x) \geq u(y, x)$
2. Y si $u(x, x) = u(y, x)$ entonces $u(x, y) > u(y, y)$ ³¹⁷

Según nos hace notar Larry Samuelson a este respecto,

[...] ésta, la definición original de una ESS ofrecida por Maynard Smith [...] deja especialmente claro que la condición de una ESS incluye el requisito del equilibrio de Nash, dado por (1), y el requisito de la estabilidad, dado por (2). Este último asegura que la ESS [x] pueda repelar mutantes.³¹⁸

De acuerdo con esta definición, si los jugadores de una población interactúan en un juego como el descrito más arriba (Gallina) puesto que no hay una estrategia *pura* evolutivamente estable, la ESS se manifestará en el hecho de que la población tiende hacia lo que se conoce como “equilibrio polimórfico”. Este tipo de equilibrio, como su nombre indica, consiste en que la población se mantiene estable con *varios* tipos de estrategias repartidos entre sus habitantes: “some proportion of the population plays one pure strategy and some proportion of the

³¹⁵ Obsérvese cómo la definición de estrategia, aunque aplicada en este contexto al comportamiento animal, coincide plenamente con la noción característica de la teoría de juegos convencional, orientada a agentes idealmente racionales. Comparémosla por ejemplo con esta definición de Harsanyi: “A full description of what move a given player would make in every possible situation is called a *strategy*” (1977, p. 94).

³¹⁶ Maynard Smith, 1977, p. 10. En relación con el alcance y objetivo que se propone, el autor añade a continuación: “The concept is couched in terms of a ‘strategy’ because it arose in the context of animal behaviour. The idea, however, can be applied equally well to any kind of phenotypic variation, and the word strategy could be replaced by the word phenotype; for example, a strategy could be the growth form of a plant, or the age at first reproduction, or the relative numbers of sons and daughters produced by a parent”.

³¹⁷ Maynard Smith, 1977, p. 14

³¹⁸ L. Samuelson, 1997, p. 40

population plays another”³¹⁹. Por poner un caso concreto, si los pagos del juego Gallina son los reflejados en la tabla 10³²⁰, el equilibrio consistiría en que el 75% de los jugadores emplease siempre la estrategia M , y el 25% usase siempre la estrategia m . Originalmente la idea de Maynard Smith es mostrar que para un juego de estas características existe siempre *una* estrategia *mixta* evolutivamente estable, esto es, que *toda* la población se compone de un solo fenotipo, el cual escoge aleatoriamente una u otra de las estrategias puras disponibles, con cierta probabilidad. Sin embargo, “when there are only two pure strategies, if the mixed strategy is stable then so is the genetic polymorphism”³²¹, lo cual es precisamente lo que ocurre en el caso que nos ocupa. Por lo tanto, no es un inconveniente que la presente versión de *Bichos* no cuente por el momento con la posibilidad de que los agentes artificiales escojan aleatoriamente entre una serie de estrategias puras.

Así pues, el concepto de ESS nos permite calcular cuál habría de ser la composición de una población que no pueda ser invadida por una estrategia mutante (o combinación de estrategias). Y ya hemos indicado que el resultado equivale a lo que en la teoría de juegos clásica sería un equilibrio de Nash empleando estrategias mixtas, interactuando dos jugadores una sola vez en el marco de este juego como éste: $p(M) = 0,75$ y $p(m) = 0,25$.

Pero además, la ecuación Replicator dynamics da cuenta de cómo una población que no se encuentre en dicho equilibrio tendería a alcanzarlo al cabo de un cierto número de generaciones. En 3.3.1 analizábamos el modo en que Replicator dynamics calcula este proceso evolutivo, de acuerdo con un mecanismo darwinista que considera los pagos obtenidos por un agente en un determinado juego (o serie de juegos) como expresión del número de descendientes que procreará, y que heredarán la estrategia que él ha empleado.

4.2.5 El juego del Gallina llevado al laboratorio virtual

Estamos por fin en condiciones de poner en marcha el primer experimento ejecutado en *Bichos*, con el fin de contrastar si este modelo dinámico cumple o no las predicciones de la teoría. Tenemos una población: a) cuyos individuos se enfrentan en la situación que aquí quedó formalizada como el juego del Gallina, y b) que originalmente no se encuentra en el equilibrio correspondiente a la ESS. Interactuando unos jugadores con otros, sumando los pagos obtenidos en dichas interacciones, y aplicando reiteradamente la ecuación replicator dynamics, habrá de verificarse que la composición de la población tiende a distribuirse en 75% de individuos empleando la estrategia M y 25% empleando la estrategia m .

³¹⁹ Skyrms, 1996, p. 12.

³²⁰ *Supra*, 4.2

³²¹ Maynard Smith, 1977, p. 17

Según he indicado anteriormente (4.2, punto 4) se trata de un test especialmente exigente para mi modelo, por cuanto los agentes artificiales no interactúan globalmente, sino que se enfrentan sólo a número limitado de jugadores (sean vecinos o no), lo cual nos obligaba a realizar un cálculo aproximado, valiéndonos de loterías. Por el contrario, si aplicásemos Replicator dynamics directamente sobre el papel, simplemente como una sucesión de cálculos, y no en una simulación que contiene una serie de elementos “empíricos”, entonces la confirmación o falsación del resultado sería una cuestión totalmente *a priori*³²².

La simulación que describo a continuación se encuentra grabada en el archivo **WarAttrition (Cap 4).dpt**, y se puede cargar desde el menú **File** → **Open**. En el experimento contenido en este archivo las condiciones son las siguientes:

- El mundo consta de 1000 jugadores (25 x 40 celdas)
- Cada jugador interactúa *una sola vez* con otros 24 individuos.
- Los emparejamientos son al azar.
- Sólo hay dos tipos de jugadores (estrategias): cooperar o defraudar *siempre*³²³, sin posibilidad de prever cuál será la disposición o conducta ajena. Es decir, no hay ningún tipo de reputación ni memoria. Esto no se debe a una limitación del modelo, sino por el contrario, se trata de una restricción voluntaria, a fin de que el modelo coincida con el propuesto por Maynard Smith, el cual sólo contempla estas dos estrategias.
- La estrategia inicial para cada uno de los jugadores se determina aleatoriamente, con probabilidad 0,5 de que una celda esté habitada por la estrategia cooperativa. Es decir, al comienzo de cada simulación, aproximadamente la mitad de los jugadores que componen el mundo cooperan siempre, mientras que la otra mitad adopta la estrategia no cooperativa. Evidentemente esta proporción inicial no es evolutivamente estable, según los pagos escogidos para esta simulación, y de acuerdo con lo que prevé la ecuación “replicator dynamics”. Las proporciones iniciales se pueden modificar en sucesivos experimentos, a fin de constatar que independientemente de la composición original del mundo, se alcanza en cualquier caso la distribución que la teoría prevé como evolutivamente estable.
- La regla de transición empleada es Replicator dynamics, implementada mediante el método de loterías explicado en 3.3.3.

³²² Un ejemplo de este otro método, una forma diferente de entender lo que es una simulación, lo veremos cuando nos ocupemos del juego Ultimátum (*cf. infra* 4.5).

³²³ Según quedó dicho, en el contexto del juego Gallina cooperar equivale a desviarse (es decir, ser un gallina) y defraudar consiste en seguir adelante.

Excepto por el hecho de que las interacciones no son globales, todas estas condiciones reproducen fielmente el modelo propuesto por Maynard Smith. De acuerdo con el mismo, *dados los pagos dispuestos para esta simulación* (véase tabla 10³²⁴), la población deberá estabilizarse en un polimorfismo con el 75% de los jugadores defraudando siempre, y un 25% empleando la estrategia cooperativa.

Y esto es efectivamente lo que ocurre al cabo de pocas generaciones, una vez puesta en marcha la simulación. Los dos parámetros cuya modificación, en este juego, resulta más interesante para poner a prueba la robustez de *Bichos*, son los propios pagos y la frecuencia relativa de las dos estrategias al inicio de la simulación³²⁵.

Los pagos se pueden modificar en la ventana **Pay offs**. Según los alteremos —*siempre que conserven la estructura propia del juego Gallina*— podremos ver, como es de esperar, que el punto de equilibrio de las estrategias mixtas va variando. El resultado presentado en esta ventana no influye en absoluto en el desarrollo de la simulación, y es un mero cálculo que sirve de referencia para el usuario (por lo demás, podríamos realizarlo directamente sobre el papel).

El grado en que cada una de las dos estrategias estará presente en el mundo al inicio de cada simulación, lo podemos modificar en la ventana **Selected Strategy → Distribute %**. *Incluso para distribuciones extremas como 99% - 1%, la dinámica de la replicación conduce al polimorfismo que coincide con el equilibrio de Nash.*

El único factor que al ser modificado altera radicalmente los resultados es la regla de transición seleccionada para regular el proceso evolutivo. Si escogemos cualquiera de las otras tres reglas, los equilibrios alcanzados en la simulación no coinciden con el de Nash. Lo cual no es de extrañar, pues precisamente lo que pretendíamos probar con este experimento era la correcta implementación de la regla *replicator dynamics*.

4.2.6 Comentarios adicionales en relación con este experimento

Las condiciones del modelo son muchas y precisas, tal como las especifica Maynard Smith. Lo cierto es que los agentes de *Bichos* se comportan con una notable fidelidad a lo previsto por la teoría.

Podemos cerrar el análisis de esta primera simulación con una reflexión más sobre el concepto de estrategia mixta. Cabría preguntarse por qué tiene que ser la selección aleatoria de estrategias puras el procedimiento *racional* para tomar una decisión, cuando no hay una estrategia pura dominante. ¿Por que no, por ejemplo, suponer que el otro jugador es propenso o averso al riesgo, y jugar lo contrario de lo que creemos que hará (según alguna de estas dos

³²⁴ *Supra* 4.2

³²⁵ Siempre que hayamos modificado cualquier parámetro y queramos iniciar una nueva simulación con las condiciones especificadas, basta hacer click *derecho* (botón secundario del ratón) sobre **New**.

suposiciones)? O quizá también, dada la incertidumbre, asignar 0.5 a la probabilidad de que el otro hará M o m , y maximizar la utilidad esperada como de costumbre. O tirar una moneda, es decir, recurrir a una lotería, pero no necesariamente de acuerdo con las probabilidades que dejarían al otro indiferente cuando quisiese maximizar su utilidad esperada. Lo cierto es que se trata de un método que, por lo menos, resulta muy poco intuitivo. Creo que es lo último que se le ocurre a un estudiante cuando le presentan por primera vez este tipo de situación.

No obstante, hay un fenómeno llamativo que se puede observar en estos experimentos. Unos agentes artificiales, actuando siempre de la misma manera estereotipada y rígida, sin plantearse para nada si disponen o no de estrategias dominantes (no las tienen, pero es irrelevante, porque hacen *siempre* lo mismo), dan lugar a una población que se compone de ambas estrategias *precisamente en la proporción que resultaría de aplicar una estrategia mixta*, si tuviesen que resolver la situación una sola vez y de manera individual. Esto podría verse como un argumento evolutivo, *a posteriori*, para justificar que el uso de estrategias mixtas es en efecto el procedimiento racional cuando ningún jugador cuenta con una estrategia dominante. Más dudoso sería convertir esto en un argumento normativo, que prescriba a los agentes aplicar estrategias mixtas cuando no pueden hacer otra cosa, derivando esta normatividad del *hecho* de que la dinámica de la replicación selecciona naturalmente este equilibrio en las especies.³²⁶ Pero es por lo menos curiosa esta coincidencia entre los resultados de Replicator dynamics, una regla que describe el comportamiento de entidades irracionales, y el equilibrio de Nash (mixto) que la teoría de juegos predice será el resultado al que llegarán agentes idealmente racionales.

Hay otro aspecto relacionado que conviene destacar. Una cosa es la ecuación Replicator dynamics —aunque Maynard Smith no la llame así—, la cual simplemente da cuenta de que “individuals reproduce in numbers proportional to their fitnesses [...] supposed that individuals reproduced their kind asexually”³²⁷, y otra es el concepto de estrategia evolutivamente estable (EEE). Obviamente hay una vinculación entre ambos, pero si Maynard Smith la establece —lo cual no se alcanza a ver bien— se trata desde luego de una vinculación *a priori*: el concepto de EEE estaría conteniendo ya la idea de que una estrategia es evolutivamente estable *porque* las relaciones entre la tasa de reproducción y el éxito adaptativo son precisamente las descritas por la ecuación Replicator dynamics. Ahora bien, caso de ser ésta la relación entre ambos conceptos, la conclusión más trivial que podríamos extraer es que el modelo *Bichos* es una perfecta

³²⁶ No sería propiamente una variante de la llamada falacia naturalista, pues la prescripción no es aquí moral, sino puramente técnica. El capítulo 5 tratará sobre estos dos tipos de normatividad, así como las relaciones y conflictos que pueden establecerse entre ellos.

³²⁷ Maynard Smith, 1977, p. 13

reproducción empírica de lo que describe la teoría. La conclusión más significativa, si aquella relación *no es a priori* —e independientemente de si ésta es la idea que Maynard Smith tiene en mente— es que la simulación constituye una excelente prueba *a posteriori* de que efectivamente existe una dependencia muy precisa entre Replicator dynamics y EEE.

A favor de la interpretación según la cual el enlace entre Replicator dynamics y EEE es puramente formal, tenemos esta afirmación de Maynard Smith:

[The equation] describes the dynamics of the population. Knowing the values of V and C , and the initial frequency of H , it would be a simple matter to calculate numerically how the population changes in time. It is more fruitful, however, to ask what are the stable states, if any, towards which the population evolve.³²⁸

Y tal es la tarea que emprende Maynard Smith inmediatamente a continuación. Y para ello se vale precisamente de su definición de EEE, calculando la “utilidad esperada” de una u otra estrategia según las proporciones en que éstas se distribuyen en la población.

Sin embargo, la regla Replicator dynamics no es la única forma de describir matemáticamente la evolución y la estabilidad de diversas estrategias en una población. Ya vimos en el capítulo 3 que hay otras reglas de transición, *y todas ellas son compatibles con el concepto de EEE*. Su definición sigue siendo perfectamente operativa: la estrategia que empleada por todos los individuos en una población no puede ser invadida por un mutante. La diferencia estará en que dependiendo de qué regla consideremos, a veces ocurrirá que la(s) estrategia(s) evolutivamente estables serán otras, y diversos también los mutantes a los cuales serán inmunes.

Una simulación como la que propongo en esta investigación permite efectuar los experimentos modificando diversas variables, además de las reglas de transición. En sus formas más simples el modelo de *Bichos* alcanza el grado de precisión formal que se encuentra en algunas simulaciones de Skyrms (prueba de ello es la perfecta coincidencia con las predicciones de Maynard Smith, según hemos visto en esta sección). Si incrementamos el número de parámetros que pueden manipularse en la simulación, las pautas dinámicas se vuelven tan complejas que el enfoque analítico ya no es posible. Y sin embargo, los resultados siguen coincidiendo con los obtenidos en una simulación más simple. En el caso de este primer juego que hemos estudiado, esta coincidencia sería la prueba *a posteriori* de esa vinculación entre Replicator dynamics y EEE, por un lado, y entre EEE y el equilibrio de Nash, por otro.

³²⁸ Maynard Smith, 1977, p. 14. Éste sería el enfoque típicamente analítico de la teoría de juegos evolutiva, que es de hecho lo que Skyrms lleva a cabo en algunas de sus simulaciones (y por lo cual no cabe llamarlas propiamente simulaciones, según argumentaré en 4.5).

En la próxima sección ampliaremos sistemáticamente la cantidad de aspectos que pueden influir en el curso evolutivo de las estrategias. Esta ampliación será especialmente indicada porque el juego que simularemos es el DP, sin duda el que más atención ha recibido hasta la fecha, lo cual nos obligará a contrastar los resultados del modelo en una serie mucho mayor de experimentos.

4.3 Simulaciones del DP con las características ampliadas de *Bichos*: territorialidad, pagos continuos e influencia de las reglas de transición

El Dilema del Prisionero es sin duda la situación más conocida en la cual la teoría de juegos permite desde su enfoque característica un análisis de los conflictos entre intereses opuestos y, más significativamente, de la racionalidad instrumental consigo misma. En 2.1.4 quedó expuesta la estructura de este juego. Desde que Tucker lo formalizara hace algo más de medio siglo, se han dedicado a su estudio cientos de publicaciones, en campos en principio tan diversos como le economía, biología evolutiva, matemáticas, inteligencia artificial, y por supuesto la filosofía moral.

Tanto en su variante básica a una sola jugada, como en su forma iterativa, las conclusiones más relevantes son conocidas ya desde los años 50. Desde un punto de vista centrado exclusivamente en la teoría de juegos, no hay mucho que añadir a las conclusiones que se desprenden de su propio análisis matemático. Si el juego sólo se produce una vez, el equilibrio de Nash se encuentra en el fraude mutuo. Si el juego se repite un número indefinido de veces, el llamado “folk theorem” afirma la existencia de un número ilimitado de equilibrios³²⁹. No obstante, yendo más allá de las conclusiones puramente matemáticas, el desafío que presenta este simple juego para la filosofía moral y para la teoría de la elección racional no parece haber sido resuelto.

En lo que respecta a su enfoque desde el método que hemos escogido para esta investigación, los resultados más relevantes obtenidos mediante la aplicación de simulaciones informáticas ya quedaron recogidos en los trabajos de Axelrod *La evolución de la cooperación* (1984) y *The Complexity of Cooperation* (1997), a los que ya nos hemos referido en varias ocasiones, y sobre los que volveremos todavía a lo largo de esta sección. En este sentido, los resultados que proporciona *Bichos* vienen en su mayor parte a confirmar estas conclusiones ampliamente conocidas. Al margen de algunas divergencias que señalaré llegado el momento, el propósito de analizar aquí el DP responde más a exponer las novedades que *Bichos* aporta como

³²⁹ La denominación “folk theorem” se debe a que fue probado por diversos autores, sin que se pueda atribuir a ninguno la prioridad del descubrimiento. Veámos en el capítulo 1 que en opinión de Binmore la gran contribución de Axelrod es haber mostrado la importancia de la evolución para seleccionar *uno* de esos equilibrios. Una exposición formal de la demostración se encuentra en Rubinstein (1979).

simulación, que a proporcionar conclusiones radicalmente nuevas. Puesto que se trata del juego más conocido no sólo entre especialistas en teoría de juegos, será un buen punto de referencia para comprender algunas de las novedades conceptuales que introduzco con mi modelo. Por lo demás, la ausencia general de sorpresas en cuanto a los resultados puede verse sin duda como una confirmación más de que el modelo, pese a su mayor complejidad respecto de otras simulaciones, sigue siendo una representación adecuada de las situaciones que formaliza la teoría de juegos.

Para ello comenzaré con una característica propia de *Bichos*, que lo diferencia tanto de la mayoría de las simulaciones empleadas en teoría de juegos como del análisis habitual, sin modelos informáticos, que el DP recibe desde la teoría de juegos.

4.3.1 Juegos *continuos*

Según hemos visto hasta el momento, son dos las opciones que cada jugador tiene a su disposición en el DP: cooperar o defraudar. En *Bichos*, por el contrario, es posible cooperar gradualmente. Los jugadores pueden escoger los valores intermedios que se encuentran en el continuo entre los extremos de la cooperación completa y el fraude absoluto, que se representan como 1 y 0, respectivamente, y que corresponden al esquema habitual del DP³³⁰. La cooperación gradual supone un nivel adicional de abstracción que nos aleja de la conocida historia de los prisioneros³³¹. Sin embargo no es difícil encontrar situaciones reales a los que sería aplicable este otro modelo, que denominaremos a partir de ahora “continuo”. Los casos más visibles los tenemos en las versiones colectivas del DP. Cuando se trata de contribuciones individuales para la obtención de un bien público, es frecuente que nos hallemos ante la posibilidad de cooperar más o menos en la causa común (por ejemplo, si cada uno puede donar una cierta cantidad — indeterminada entre 0 y x — para financiar la construcción de un parque público). Aunque aquí no me ocuparé de estos dilemas colectivos, la referencia a ellos es oportuna para mostrar el alcance más general de *Bichos*, gracias a esta posibilidad de tratar juegos continuos.

Obviamente, una interacción donde son posibles diversos grados de cooperación tendrá que adjudicar a los jugadores pagos *proporcionales* a la cooperación invertida por cada uno, en función también de la cooperación conjunta que se haya alcanzado. Y todo ello de modo que pagos resultantes de las combinaciones de los casos extremos contemplados en el DP clásico (0 –

³³⁰ Para una explicación más detallada de cómo el programa asigna el valor 0 al fraude y el valor 1 a la cooperación, véase el Apéndice A, epígrafes 2 y 3.

³³¹ Y que por otra parte nos acerca en cierta manera a los problemas de la acción colectiva (dilema del contribuyente).

0, 1 – 1, 0 – 1 y 1 – 0) coincidan con la matriz de pagos que define el juego. Estos resultados típicos serán el punto de referencia para los cálculos que detallaré a continuación, y los denominaré con las iniciales que los denotan habitualmente: P, R, S y T, respectivamente³³².

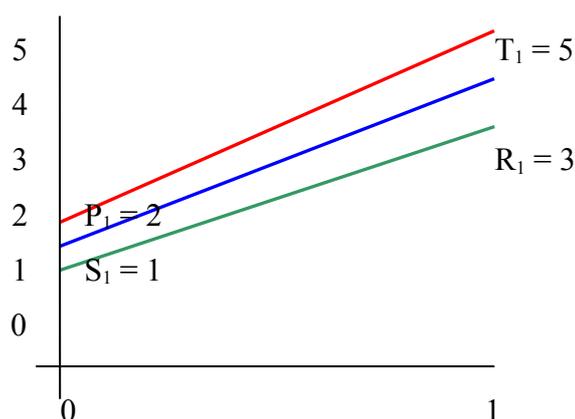
Consideremos una vez más el DP, ahora con los siguientes pagos:

Tabla 12

		Jugador 2 (J2)	
		Cooperar	Defraudar
Jugador 1 (J1)	Cooperar	$R_1 = 3 ; R_2 = 3$	$S_1 = 1 ; T_2 = 5$
	Defraudar	$T_1 = 5 ; S_2 = 1$	$P_1 = 2 ; P_2 = 2$

Si bien la situación es simétrica, adoptaremos la perspectiva de J1, y representaremos los posibles valores de sus pagos en dos rectas. En la recta verde indicamos el *continuo* de pagos que puede obtener si coopera. Y con la recta roja trazamos el continuo de pagos que puede obtener si defrauda. Ignoramos por ahora la línea azul.

Figura 4



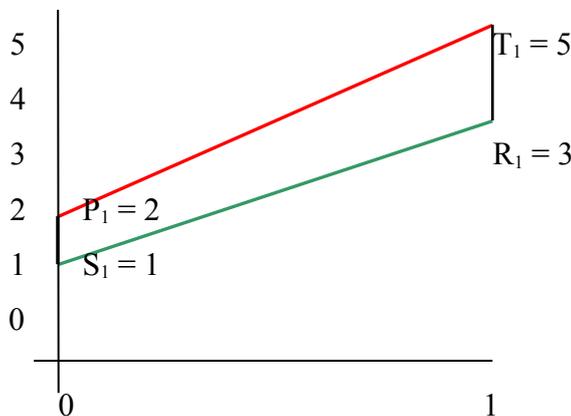
En el eje y se indican los pagos. En el eje x se indica el grado de cooperación total *de los demás* jugadores, ya sea uno solo o varios (en nuestro caso será siempre uno). Es decir, en este eje *no se incluye la cooperación propia*. El grado en que coopera J1 se refleja en las diversas rectas que cabría trazar —la azul, por ejemplo— desplazándolas verticalmente entre las líneas verde y roja. En el caso clásico de dos jugadores con estrategias discretas (cooperar o defraudar), si J2 coopera, entonces $x = 1$, y si defrauda $x = 0$.

³³² Cfr. *supra* 2.1.4

Supongamos ahora que el rango de estrategias es continuo, y no discreto. Para J1 el espectro de resultados posibles (pagos) se representaría mediante todas las rectas que cabe trazar entre las rectas roja y verde del gráfico. Por ejemplo, si J1 coopera 0.5, la recta correspondiente para este grado de cooperación sería la azul. Puestas las cosas así, si J2 no cooperase en absoluto ($x = 0$) entonces J1 recibirá 1.5, de modo que hará “el tonto”, pero no tanto como si hubiese cooperado totalmente. Y si J2 cooperase totalmente ($x = 1$), entonces J1 obtendría 4, con lo cual estaría explotando a J2 pero, nuevamente, no tanto como si hubiese defraudado absolutamente.

Los puntos incluidos en el cuadrilátero definido por P, T, S y R (figura 5) representarían todos los resultados posibles para J1, en función de su grado de cooperación y del grado de cooperación de los demás (sean uno o varios jugadores).

Figura 5



La localización de un punto dentro de este cuadrilátero —incluyendo los puntos contenidos en las líneas que lo delimitan—, en función de los pagos que definen el juego, así como del número de jugadores y el grado de cooperación de los demás, se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Pago} = \{(R - S) + (1 - c) \cdot [(T - P) - (R - S)]\} \cdot x + \{S + [(1 - c) \cdot (P - S)]\}$$

Esta fórmula se puede simplificar, pero entiendo que por ahora se sigue más claramente así. Vemos que responde a la forma de la ecuación típica de una recta:

$$y = ax + b$$

Donde

$$a = (R - S) + (1 - c) \cdot [(T - P) - (R - S)]$$

y

$$b = S + [(1 - c) \cdot (P - S)]$$

Por su parte, c es el grado de cooperación del jugador cuyos pagos se quieren calcular: 0 = defraudar, 1 = cooperar. La variable x contiene el grado de cooperación medio *de los demás* jugadores³³³:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}$$

Supongamos un DP de dos jugadores donde ambos han cooperado 0,5. Es decir, $x = 0,5$ y $c = 0,5$. Sustituyendo los valores tenemos que:

$$a = (3 - 1) + (1 - 0,5) \cdot [(5 - 2) - (3 - 1)] = 2 + 0,5 \cdot [3 - 2] = 2,5$$

$$b = 1 + [(1 - 0,5) \cdot (2 - 1)] = 1 + [0,5 \cdot 1] = 1,5$$

$$y = 2,5 \cdot x + 1,5 = 2,5 \cdot 0,5 + 1,5 = 2,75$$

Así pues, el pago que obtendría J1 (y en este caso también J2) sería 2,75, habiendo ambos cooperado sólo a medias.

Además de ser un modelo más amplio —pues el DP discreto sería un caso particular del DP continuo— una ventaja importante que aporta la introducción de juegos continuos es la simplificación o reducción de los juegos iterados. En un juego discreto es difícil concluir a partir de pocas observaciones si la disposición de un agente es *en general* cooperativa o no (o en qué grado lo es). Incluso a nuestro sentido común le resulta difícil juzgar el talante cooperativo de alguien si sólo le hemos visto interactuar (con nosotros mismos o con otros) en pocas ocasiones. De hecho, en sus simulaciones Axelrod repetía *alrededor* de 200 veces cada enfrentamiento entre dos jugadores³³⁴. Esto permitía a las estrategias más elaboradas —aunque no precisamente las mejores— poner en práctica de un modo más preciso sus métodos estadísticos a la hora de intentar anticipar cuál será el próximo movimiento de su rival. Por otro lado, un número elevado de iteraciones incide favorablemente no sólo en lo que respecta a la investigación de la disposición ajena, sino a los propios patrones de respuesta: puede haber algoritmos con pautas de conducta —ya sean deterministas o bien, *especialmente*, si son aleatorias— que no pueden concretarse de manera significativa en pocas repeticiones. En efecto, algunas de las estrategias que competían en los torneos de Axelrod defraudaban o cooperaban con cierto grado de

³³³ Como ya he apuntado, en esta investigación no me ocupo de juegos colectivos, de manera que en los experimentos que veremos n será siempre 1.

³³⁴ Conviene recordar una observación que ya habíamos hecho en la sección 3.5. Cuando una regla de decisión sabe con exactitud cuántas serán las interacciones que tendrán lugar, la aplicación de un razonamiento recursivo conduce a la decisión de defraudar siempre (*cf.* Luce y Raiffa, 1957, pp. 98 – 99). Por ello en los torneos organizados por Axelrod el número de iteraciones quedaba determinado al azar, con un cierto margen en torno a 200 jugadas.

probabilidad, bien sistemáticamente, bien ocasionalmente, dependiendo de otros factores. Pero no es en el DP donde más claramente se ve esta necesidad de considerar numerosas iteraciones para que resulte significativa la toma de decisiones regida por el azar, sino en juegos como Gallina, precisamente por tener su punto de equilibrio en un par de estrategias *mixtas*.

La racionalidad de maximizar la utilidad esperada mediante el uso de estrategias mixtas se mantiene en un juego sin iteraciones, precisamente porque es *esperada*. Pero dicha utilidad no será sólo esperada, sino también tanto más *efectiva* cuantas más veces haya ocasión de aplicar la estrategia mixta. Sin embargo, en un juego *continuo*, basta una sola jugada para que la utilidad derivada de aplicar una estrategia mixta sea real o efectiva. La razón es que en *Bichos* una estrategia mixta deja de ser una distribución de probabilidades sobre un conjunto de estrategias puras, y pasa a ser directamente *una* estrategia pura cuyo nivel de cooperación equivale a la probabilidad con la que el jugador tendría que emplear su estrategia cooperativa.

Veamos esto con un ejemplo, retrocediendo por un momento al juego del Gallina con los pagos que habíamos definido en la sección 4.2 (tabla 10). Allí el equilibrio de Nash se encuentra en el punto donde cada jugador escoge su opción cooperativa con probabilidad 0,25 y su opción defectiva con probabilidad 0,75. Con ello consiguen dejar indiferente al otro jugador, quien de cualquiera de sus cursos de acción obtiene una utilidad *esperada* de 1,75. Si esta situación se produce una sola vez, aunque la utilidad esperada sea 1,75, los pagos *efectivos* que obtendrán serán alguno de los que definen el juego: 0, 1, 4 o 7. Sólo repitiendo el juego se irá aproximando el valor promedio de los pagos obtenidos al valor de la utilidad esperada (tanto más próximo cuantas más veces se produzca la interacción). Ahora bien, si consideramos este mismo juego en su forma continua, una sola jugada es suficiente para que los jugadores obtengan exactamente ese mismo resultado (1,75). Para ello, en lugar de escoger al azar sus estrategias puras, simplemente escogen la estrategia pura consistente en cooperar 0,25.

Aplicamos la fórmula para calcular los pagos en un juego continuo, con los valores que definen este juego del Gallina: $T = 7$, $R = 4$, $S = 1$ y $P = 0$. Además, $x = 0,25$ y $c = 0,25$.

$$a = (4 - 1) + (1 - 0,25) \cdot [(7 - 0) - (4 - 1)] = 3 + 0,75 \cdot [7 - 3] = 6$$

$$b = 1 + [(1 - 0,25) \cdot (0 - 1)] = 1 + [0,75 \cdot -1] = 0,25$$

$$y = 6 \cdot x + 0,25 = 6 \cdot 0,25 + 0,25 = 1,75$$

Vemos, pues, que la utilidad *efectiva* que obtienen los jugadores en un juego continuo cooperando 0,25 es idéntica a la utilidad *esperada* que obtendrían escogiendo la estrategia cooperativa con probabilidad 0,25.³³⁵

De manera más general, para cualquier juego —no sólo para los que se resuelven mediante estrategias mixtas— una sola interacción en un juego continuo podría considerarse el “resumen” (la media) de lo que haría una disposición a lo largo de varias iteraciones en un juego discreto.

4.3.2 Resultados de los experimentos

En cualquier caso, la dinámica evolutiva conduce a los mismos resultados que en la variante discreta del DP, cuyas conclusiones fundamentales quedan resumidas de manera paradigmática en la obra de Axelrod. Paso ahora a exponer dichas conclusiones, contrastándolas con una serie de 216 experimentos efectuados con *Bichos*, en los cuales fueron variando las siguientes condiciones: número de vecinos (4, 8, 12, 16 o 32), territorialidad de las interacciones (vecindarios fijos, al azar, o mixtos), número de iteraciones (1, 5 o 10), reglas de transición (Replicator dynamics, MaxiMax o Utilidad esperada) y tipo de reproducción (por imitación o por herencia sexual). Todos los experimentos fueron realizados en una población de 1000 habitantes (40 x 25 celdas) y con una frecuencia de mutaciones de 5 por 1000³³⁶. Otras variables de *Bichos* que permanecieron constantes en todas las simulaciones fueron los propios pagos del DP (idénticos a los tomados por Axelrod: R = 3, P = 1, S = 0, T = 5) así como **Search always same neighbourhood** = On, **Equality** = 1 y **Si sen** = Off³³⁷. Al cabo de cada simulación, se indica el grado de cooperación promedio calculado a partir de todas las jugadas de todos los jugadores a lo largo de las 1000 generaciones. Dada la complejidad de las estrategias que intervienen resulta inviable un análisis matemático preciso, pese a lo cual se pueden extraer las siguientes regularidades³³⁸:

³³⁵ En los epígrafes 2 y 3 del Apéndice A he incluido una explicación detallada de cómo leer estos resultados en el juego.

³³⁶ Al cabo de cada generación, cuando cada celda ha sido actualizada con una nueva estrategia, alguno de los parámetros (genes) que definen dicha estrategia puede sufrir una variación al azar con probabilidad 0,005. Los primeros experimentos de Axelrod no incluían mutaciones, siendo siempre las mismas las estrategias que competían en el marco ecológico, esto es, las que habían sido enviadas para los torneos. Axelrod denomina *ecológico*, en lugar de *evolutivo*, a este tipo de competencia donde no se introducen novedades respecto de las estrategias iniciales (*cf.* Axelrod, 1986, p. 57). Posteriormente, Axelrod (1997) sí contará con dos fuentes de variación, mutación y recombinación genética, de las que me ocupo más adelante.

³³⁷ Estos parámetros son irrelevantes en este estudio del DP, y los menciono solamente porque hay que disponerlos con esos valores si se quiere reproducir el experimento. Para una explicación del último (**Si sen**) véase el Apéndice A, epígrafes 3 – 5.

³³⁸ Los detalles de todos los experimentos pueden contrastarse en el Apéndice B (debido a la gran extensión de las tablas no los incluyo aquí). También están contenidos en el archivo **DP resultados.xls**.

- Iteraciones. *En un marco territorial con vecindarios fijos*, el grado de cooperación global se incrementa siempre en proporción al número de jugadas que componen una partida. Como ya habíamos analizado en el capítulo anterior³³⁹ este hecho era de esperar dada la necesidad de estos agentes artificiales de desarrollar sus disposiciones condicionales a partir de la observación de acciones previas de otros jugadores. Sin embargo, cuando los enfrentamientos se producen al azar (aunque sea parcialmente) un número mayor de iteraciones no es suficiente para compensar la disgregación de las estrategias que pueden alcanzar entre sí resultados cooperativos.
- Territorialidad: distribución espacial. Se observa también un nivel superior de cooperación cuando los jugadores conservan las mismas relaciones espaciales de una generación a otra. Si en cada generación la mitad de los vecinos es asignada aleatoriamente la cooperación disminuye, para desaparecer casi completamente si los emparejamientos están todos determinados al azar. En la actualidad esta conclusión ya no representa una novedad, y tal como observa un estudio reciente “on the basis of spatial extensions of the Prisoner’s Dilemma, it is widely accepted that spatial structure promotes the evolution of cooperation”³⁴⁰. Sin embargo, la primera aproximación de Axelrod a este punto parecía envolver cierta sorpresa de que esto fuese así, cuando considera “un resultado bastante fuerte” que “a una estrategia no le sea más difícil ser territorialmente estable que ser colectivamente estable [...] en un sistema de libre mezcolanza”³⁴¹.
- Territorialidad: tamaño relativo de los vecindarios. Sin embargo, esta serie de simulaciones nos permite detectar un aspecto más destacable de los sistemas espaciales. Las ventajas que la territorialidad presta al surgimiento y el mantenimiento de la cooperación no dependen del número absoluto de vecinos con los que interactúa cada agente, sino de la proporción entre la cantidad de estos vecinos y el tamaño total de la población. Tomando como referencia los 1000 individuos que componen el mundo estudiado en estos experimentos, podemos notar que, a igualdad de condiciones en las demás variables, hay una tendencia a que la cooperación global se vea tanto más favorecida cuanto *menor* sea el número de individuos que componen el vecindario. En principio cabría esperar que cuanto mayor sea el vecindario en términos absolutos, más sólida será la cooperación que alcancen los individuos que lo habitan, pues pueden

³³⁹ Cfr. *supra* secciones 3.5 – 3.7.

³⁴⁰ Hauert y Doebeli, 2004, p. 643. (Estos autores llaman allí “Snowdrift game” al juego del Gallina).

³⁴¹ Axelrod, 1986, pp. 152 – 153. En *The Complexity of Cooperation* (1997) Axelrod no vuelve a mencionar este aspecto de la territorialidad en relación con el DP, presumiblemente porque para entonces las conclusiones en este sentido eran ya demasiado conocidas.

interactuar con una proporción *mayor* de agentes similares, que emplean también estrategias cooperativas. La explicación de este rasgo tiene mucho que ver con la forma concreta en que están diseñados los experimentos con la simulación *Bichos*, pero mostraré que el supuesto del que parto es en realidad el más exigente para una justificación de las disposiciones cooperativas.

Según he indicado anteriormente, al inicio de cada simulación las estrategias que componen el mundo están distribuidas completamente al azar, y determinados también aleatoriamente cada uno de los parámetros que configuran los diversos algoritmos de cada una. Este ambiente original, generado de un modo totalmente caótico es hostil a las conductas *condicionalmente* cooperativas. Como cuestión estadística, las estrategias *incondicionalmente* cooperativas y las *incondicionalmente* defectivas estarían repartidas a partes iguales. Puesto que éstas pueden explotar fácilmente a aquellas, la dinámica evolutiva conduciría rápidamente a un mundo sin cooperación alguna³⁴². Cuando la cooperación consigue surgir y mantenerse ello se debe a pequeños núcleos originales donde el azar ha depositado disposiciones parecidas a la maximización restringida propuesta por Gauthier. Partiendo de estas pocas estrategias condicionales aisladas, la clave está en el hecho de que las estrategias más exitosas se extienden —ya sea por herencia o imitación— *a todo el vecindario* en las que una cierta estrategia ha interactuado. Una estrategia condicionalmente cooperadora, rodeada de otras semejantes, es más exitosa que una defectora incondicional. Sin embargo, sus probabilidades iniciales de que pueda prosperar son más reducidas, no sólo porque es más difícil que el azar genere de una sola vez una estrategia de este tipo, sino fundamentalmente porque además necesitará estar próxima a otras semejantes a ella. En cambio, el entorno original para que un maximizador directo pueda multiplicarse es mucho menos restrictivo: le basta la cercanía de cualquier estrategia *incondicional*, ya sea cooperativa —a la que explotará— o bien defectiva, a la cual no conseguirá explotar, pero tampoco será explotada por ella. Cada vecindario, pues, puede verse como el número de oportunidades que una estrategia condicionalmente cooperativa tiene para encontrar las especiales condiciones iniciales a partir de las cuales podrá sostenerse y extenderse. Cuanto mayor sea el tamaño de los vecindarios, menor será el número de éstos en el mundo. Pensemos, por ejemplo, en un vecindario de 25 agentes

³⁴² Hay notables excepciones a esta afirmación, y a veces pueden convivir en un equilibrio fluctuante estrategias ingenuamente cooperativas con otras que las explotan. Pero casos como éste suponen modelos muy idealizados, con estrategias muy simples y con una estructura de pagos muy definida, como la que puede encontrarse en el modelo **DP equilibrio CD.dpt**, donde $T = 1,65$, $R = 1$, $P = 0$ y $S = 0$. Vale la pena echar un vistazo a esta partida, que presenta unos patrones espaciales muy llamativos, siempre cambiantes, sin que ninguna de las dos estrategias llegue nunca a ocupar la población completa.

(jugador central más sus 24 vecinos). En un mundo con 1000 celdas caben 40 vecindarios de este tipo. Si tomamos el caso extremo permitido en esta simulación, el mundo más pequeño posible, de 5 x 5 celdas, contendría un único vecindario de 25 jugadores. Tendríamos que ejecutar la simulación 40 veces más hasta dar por azar con un grupo de cooperadores condicionales (al menos 2, en el caso más favorable determinado por la estructura de pagos y el tipo de regla de transición empleada).

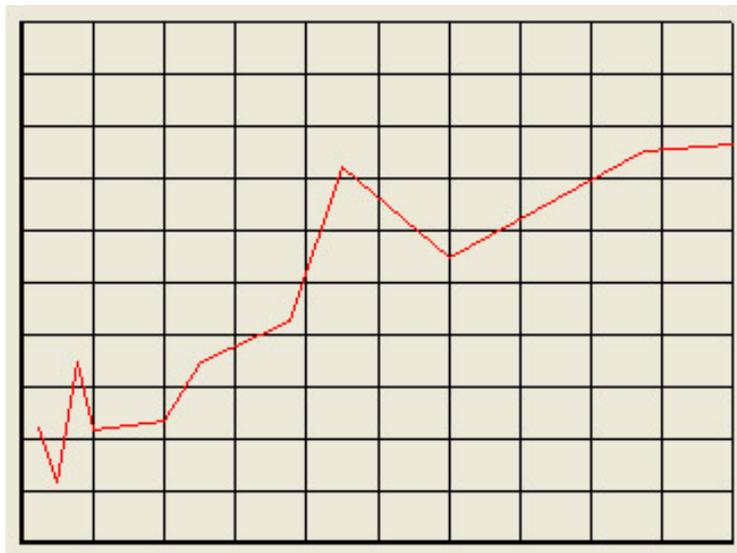
Para confirmar experimentalmente esta hipótesis suscitada por la primera serie de experimentos, ejecutaremos la simulación 24 veces más, tomando como punto de referencia el experimento **(DP 19.dpt)**³⁴³ en el cual los jugadores han conseguido a lo largo de 1000 generaciones el grado de cooperación más alto: 0,768. Se trata, en efecto, de un mundo donde la extensión de cada vecindario es mínima (von Neumann) y los emparejamientos son siempre fijos. Si ahora repetimos el experimento con las mismas condiciones, pero reduciendo el tamaño del mundo, se aprecia que el grado de cooperación va disminuyendo. Han sido en total 12 experimentos diferentes, variando el tamaño del mundo, y reproducido cada uno 2 veces (los resultados mostrados en la tabla y en el gráfico son la media de cada par de experimentos).

Tabla 13

Tamaño del mundo (filas x columnas)	Cooperación media en 1000 generaciones
1000 (25 x 40)	0,768
875 (25 x 35)	0,765
700 (20 x 35)	0,621
600 (20 x 30)	0,553
450 (15 x 30)	0,722
375 (15 x 25)	0,436
250 (10 x 25)	0,358
200 (10 x 20)	0,227
100 (5 x 20)	0,219
75 (5 x 15)	0,35
50 (5 x 10)	0,187
25 (5 x 5)	0,224

³⁴³ El número que sigue a “DP” indica la fila de la tabla del Apéndice B (o **DP resultados.xls**) donde aparecen las condiciones y resultados del correspondiente experimento.

En el eje x se representa el tamaño del mundo (cuanto más a la derecha, más reducido es el tamaño relativo del vecindario respecto del mundo); en el eje y se indica el nivel global de cooperación.



- Reglas de transición. En la sección anterior (4.2) habíamos mostrado como la simulación reproduce fielmente el tipo de dinámica dirigida por la ecuación Replicator dynamics, incluso con las limitaciones de su aplicación a una población finita. En la presente serie de experimentos dedicados al DP, la implementación de la regla ha sido exactamente la misma que para el modelo tomado de Maynard Smith (juego del Gallina con 2 estrategias puras). Los resultados, en lo que respecta a los intereses de la cooperación, son bastante desalentadores, por lo menos en comparación con las otras dos reglas (MaxiMax y Utilidad esperada). Atendiendo nuevamente a la tabla del Apéndice B³⁴⁴ vemos que, a igualdad de condiciones en todas las demás variables, los niveles de cooperaciones son sensiblemente más altos cuando se emplean las otras dos reglas. Según habíamos analizado en 3.3.1 y 3.3.2 estas reglas dan cuenta más apropiadamente de lo que sería un proceso de evolución cultural (por imitación), más que meramente biológico. No se trata de un fracaso de Replicator dynamics, ni del modo en que está implementada en esta simulación. Simplemente hay que concluir que si *a)* Replicator dynamics es un modelo matemático que describe adecuadamente determinados procesos evolutivos que tienen lugar en la naturaleza, y si *b)* aceptamos el hecho de que la cooperación puede surgir también entre seres que difícilmente pueden *imitar* en el sentido en que lo hacemos los seres humanos y otros primates³⁴⁵, entonces han de cumplirse otras condiciones para que la cooperación surja a partir de una ciega

³⁴⁴ También en **DP resultados.xls**.

³⁴⁵ Véase por ejemplo el capítulo 5 de *La evolución de la cooperación*, donde Axelrod y Hamilton enumeran y analizan una serie de estudios realizados con insectos, algas e incluso hongos.

mecánica darwinista. Y estas condiciones pueden extraerse de los experimentos que hemos llevado a cabo: encuentros no azarosos entre los individuos que aplican las estrategias, repetición en las interacciones y vecindarios reducidos en proporción a la población total (véase por ejemplo los experimentos 4 y 7)³⁴⁶.

Es preciso notar que la importancia de esta conclusión es una consecuencia de la considerable atención que se ha prestado a Replicator dynamics en el marco de simulaciones con ordenador. De los autores que nos ocupan aquí, sin duda es Skyrms quien más formalmente ha explicitado la aplicación de esta ecuación a sus modelos dinámicos de teoría de juegos. Sin embargo, aunque Skyrms emplea el modelo de Maynard Smith para estudiar otros juegos (Partir la tarta, Ultimátum, Caza del venado) no lo aplica al DP. Axelrod, investigando con profusión el DP, sí parece valerse de Replicator dynamics en su test ecológico. Digo “parece” porque no menciona explícitamente el uso de esta regla, sino que describe en una breve nota al pie un criterio de selección algo confuso, que podría interpretarse como Replicator dynamics³⁴⁷. Suponiendo, pues, que sí se trata de Replicator dynamics, los resultados que arrojan los ensayos de Axelrod, netamente favorables a las disposiciones cooperativas, se deben al diseño inteligente de éstas por parte de los programadores. Consciente de este sesgo, en *The Complexity of Cooperation* Axelrod adopta un enfoque similar al de *Bichos*, generando al azar las estrategias participantes. Pero en esta ocasión ya no emplea Replicator dynamics como criterio de selección, sino un procedimiento análogo, pero más próximo a la regla que aquí conocemos como MaxiMax, en el sentido de que los mejores “se lo llevan todo”:

The relatively successful individuals are selected to have more offspring. The method used is to give an average individual one mating, and to give two matings to an individual who is one standard deviation more effective than average. An individual who is one standard deviation below the population average would then get no matings.³⁴⁸

³⁴⁶ Lo cual no debe sorprendernos, pues viene a estar confirmado por los numerosos datos que aporta la literatura biológica, psicológica y antropológica.

³⁴⁷ La nota se encuentra en Axelrod (1986, p. 57): “Esta simulación de las futuras rondas del torneo se efectúa calculando el promedio ponderado de las puntuaciones de cada [estrategia] dada con todas las demás, siendo los pesos iguales a los números de las demás [estrategias] que continúan existiendo en la generación en curso. Los números de individuos que aplican en la generación siguiente cada [estrategia] dada se toman entonces proporcionales al producto de sus números en la generación actual y de la puntuación que alcanzaron en ella”.

³⁴⁸ Axelrod, 1997, pp. 18 – 19

Lo característico de Replicator dynamics, por el contrario, es que permite reproducirse —siempre en proporción a su éxito— a estrategias que están *por debajo* del promedio³⁴⁹.

En cuanto a la simulación más elaborada de Danielson, la que encontramos en *Artificial Morality*, ya hemos visto que ni siquiera cuenta con reglas de transición que eliminen progresivamente las estrategias menos aptas, pues era su intención incorporar a su test la idea de que “la moralidad —incluso la moralidad racional— debe admitir la supervivencia de los frustrados”³⁵⁰.

Así, pues, ninguno de los tres autores cuyas simulaciones son el punto de referencia para esta investigación consideran simultáneamente estos tres factores: 1) que el juego estudiado sea el DP, 2) que el criterio de éxito adaptativo sea el que proporciona la ecuación Replicator dynamics, y 3) que las estrategias *no estén originalmente programadas* con el propósito de obtener el mayor rendimiento posible.

Maynard Smith sí tiene en cuenta estos tres factores en su modelo más básico, introducido al inicio de *Evolution and the Theory of Games*. Se trata del juego que Maynard Smith denomina “Halcón y paloma” y que según ya hemos visto, dependiendo de cómo tenga distribuidos los pagos puede equivaler al DP o al Gallina³⁵¹. Ahora bien, cuando “Halcón y paloma” adopta la estructura del DP, la estrategia cooperativa (Paloma, *Dove*) acabará extinguiéndose:

Clearly, *D* [Dove] is not an ESS, because $E(D,D) < E(H,D)$; a population of Doves can be invaded by a Hawk mutant.³⁵²

Sin olvidar que este modelo está muy simplificado (sólo cuenta con dos estrategias, la estrategia cooperativa *no es condicionalmente* cooperativa, y sólo hay dos opciones extremas: cooperar y defraudar) esta conclusión del propio Maynard Smith debería anular el desaliento que producen las simulaciones de *Bichos* cuando la evolución de la cooperación en el DP discurre bajo Replicator dynamics. Simplemente se trata de una

³⁴⁹ Los “hechos” de las simulaciones muestran sin duda que en efecto es así. La explicación más probable de por qué esto supone una desventaja para las estrategias cooperativas, más que para las defectivas, tiene que ver con el mismo argumento expuesto en el punto anterior. Al inicio el mundo es caótico, irracional e inmoral, y los pocos individuos que han conseguido formar núcleos de cooperación no pueden sacar todo el partido posible de su mayor rendimiento adaptativo, pues Replicator dynamics da demasiadas oportunidades a un número mucho mayor de individuos que lo han hecho peor.

³⁵⁰ Danielson, 1992, p. 102. (*Cfr. supra* 1.3.2).

³⁵¹ *Cfr. supra* 4.2

³⁵² Maynard Smith, 1977, pp. 14 – 15

regla que dificulta el éxito de las estrategias cooperativas, ya sean condicionales o no. Bajo esta dinámica, si las estrategias cooperativas han de ser evolutivamente estables, habrá que buscar las causas en las otras características del entorno que ya hemos mencionado (territorialidad, translucidez).

- Tipo de reproducción. Los modelos más simples a partir de los cuales Maynard Smith introduce el concepto de estrategia evolutivamente estable y la ecuación Replicator dynamics se fundan en el supuesto de que la reproducción de los individuos en la población es asexual. Sólo a partir del capítulo 4 Maynard Smith presenta un modelo matemático muy idealizado para estudiar el juego Halcón y paloma con reproducción sexual. Sin embargo, extender este tipo de análisis a una simulación ya de por sí compleja constituye una tarea extremadamente complicada. En lugar de la perspectiva *a priori*, en su segunda serie de modelos informáticos Axelrod propone nuevamente un enfoque experimental para abordar la influencia de la reproducción sexual en la evolución de la cooperación³⁵³. Para ello se vale del procedimiento conocido como “algoritmo genético”, originalmente ideado por John Holland en el campo de la inteligencia artificial³⁵⁴. Trasladado a las simulaciones de Axelrod, la técnica consiste básicamente en dotar a cada individuo de diferentes fragmentos de genoma procedentes de *dos* estrategias (los “padres”) que hayan resultado más exitosas de acuerdo con una cierta regla de transición seleccionada.

In the evolution of highly effective strategies, the computer simulation employed sexual reproduction, where two parents contributed genetic material to each offspring. To see what would happen with asexual reproduction, forty additional runs were conducted in which only one parent contributed genetic material to each offspring. In these runs, the populations still evolved toward rules that did about as well as TIT FOR TAT in most cases. However, the asexual runs were only half as likely to evolve populations in which the median member was substantially more effective than TIT FOR TAT.

[...] Sexual reproduction does indeed help the search process [de estrategias efectivas].³⁵⁵

Sin embargo, en las simulaciones efectuadas con *Bichos* la conclusión sería exactamente la contraria. Con independencia de cuáles sean las condiciones dispuestas por las demás variables del entorno, el modelo con reproducción asexual favorece más las estrategias cooperativas que el modelo con reproducción sexual³⁵⁶. La causa de esta diferencia hay que buscarla en el modo en que están contruidos los algoritmos en

³⁵³ Cfr. Axelrod, 1997, cap. 1

³⁵⁴ Cfr. Holland (1975 y 1980)

³⁵⁵ Axelrod, 1997, pp. 22 – 24

³⁵⁶ Véase la tabla del Apéndice B, o también **DP resultados.xls**.

ambos tipos de simulaciones, y cómo se entiende que están dispuestos sus “genes”. Antes de proceder a un análisis de cómo funcionan ambos tipos de agentes artificiales, quiero anticipar la conclusión de este examen. En una publicación reciente, Danielson también incluye la posibilidad de que los agentes artificiales se reproduzcan sexualmente, notando que “most products of crossover are much messier, go nowhere, and make less strategic sense than CC”³⁵⁷. Y esto es precisamente lo que ocurre en *Bichos*, debido a la mayor complejidad de las estrategias empleadas por los agentes artificiales. A fin de comprender en qué consiste esta mayor complejidad, veamos primero en qué consiste un “genoma” en las simulaciones de Axelrod.

Figura 6

Número de bit	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Resultados previos	...	<u>DD</u>	<u>DD</u>	<u>CC</u>	<u>DD</u>	<u>DD</u>	<u>CD</u>	<u>DC</u>	<u>DD</u>	<u>DD</u>	<u>DD</u>	<u>DD</u>	<u>DD</u>
	...	CD	DC	DD	CC	DD	DD	DD	CD	DC	DD	DD	DD
	...	CC	CC	DD	DD	CC	DD	DD	DD	DD	CD	DC	DD
Respuesta	...	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Una estrategia es una secuencia de bits (fila inferior) cada uno de los cuales constituye una respuesta (0 = D, 1 = C) a una determinada sucesión de resultados en las tres últimas interacciones. Aquí sólo he representado unas pocas combinaciones, suficientes para esta explicación.³⁵⁸ Lo que he representado en la figura 6 sería un segmento del cromosoma de Toma y Daca. En efecto, vemos que las respuestas (1 o 0) sólo dependen de lo que el otro jugador haya hecho en la última jugada (letras subrayadas).

Esto bastará como ejemplo para la idea que pretendo explicar. En las estrategias de Axelrod la unidad mínima de información (un bit = un gen) es por sí misma *una respuesta*. Sin embargo, en *Bichos* las unidades mínimas de información no son por sí solas una respuesta a una secuencia de conductas, sino que contribuirán a proporcionar dicha respuesta según estén combinadas con otros genes. Para una mejor comprensión de este punto es recomendable la lectura del Apéndice A, pero confío en que a la vista de lo expuesto en capítulos previos será suficientemente claro tal como lo presento ahora.

³⁵⁷ Danielson, 1998a, p. 430

³⁵⁸ En total son 70 combinaciones, según nos explica Axelrod: “Since there are four possible outcomes for each move [CC, DD, CD y DC], there are $4 \times 4 \times 4 = 64$ different histories of the three previous moves. [...] To get the strategy started at the beginning of the game, it is also necessary to specify its initial premises about the three hypothetical moves that preceded the start of the game. To do this requires six more genes, making a total of seventy loci on the chromosome”. Axelrod, 1997, pp. 17 – 18.

En *Bichos* la respuesta es el valor y que adquiere una función $F(x) = y$, donde x se obtiene a partir de ciertas operaciones sobre otros comportamientos observados. $F(x)$ viene determinada por seis genes que marcan cuatro puntos por donde pasa la función. Por lo tanto, ninguno de estos seis genes aislados representa una respuesta. En la figura 23 del Apéndice A (epígrafe 2) vemos representada la estrategia Toma y Daca. Allí vemos que si $x = 0,75$ su respuesta es igualmente $y = 0,75$. Esta respuesta viene determinada por la variable $y_2 = 0,75$ y también por la variable $x_2 = 0,75$. Si y_2 mantiene su valor (0,75) pero desplazamos x_2 a la derecha o izquierda, la respuesta ya no será la misma cuando $x = 0,75$. Así, pues, estos dos genes *juntos* son parte de una definición eficiente de Toma y Daca. Sin embargo, si un descendiente heredara $y_2 = 0,75$ de un progenitor pero $y_2 = 0$ del otro, su funcionamiento se vería notablemente alterado³⁵⁹.

El propósito de esta pequeña digresión es subrayar un hecho bien conocido por la biología evolutiva, que el propio Axelrod tiene en cuenta:

Crossover rates that are too high would frequently split up *coadapted* sets of alleles that are on the same chromosomes.³⁶⁰

Lo que ocurre en *Bichos* es que la coadaptación de los genes que trabajan juntos es mucho más fuerte que en las cadenas de bits de Axelrod. El modelo de cruce (*crossover*) propuesto por Axelrod es una simplificación extrema de las complejidades que realmente ocurren en la reproducción de los organismos. Los algoritmos implementados en mi simulación, y el modo en que se cruzan sus genes, son también una simplificación considerable, pero de todos modos mucho más elaborada que los de Axelrod. Esta es la explicación de que en *Bichos* la reproducción sexual no favorezca la evolución de las conductas cooperativas, a diferencia de lo que ocurre en el modelo de Axelrod.

Parece dudoso que un modelo de reproducción sexual tan simple recoja todos los rasgos relevantes que la recombinación de genes presenta en la naturaleza, con lo cual no hay motivos para concluir, *a partir de la simulación*, que este tipo de reproducción favorezca *realmente* la herencia de disposiciones cooperativas. Esto no resta valor al empleo de algoritmos genéticos como técnica para buscar estrategias que difícilmente

³⁵⁹ He escrito $y_2 = 0$ simplemente por escoger un ejemplo; para el caso podría ser cualquier otro valor alejado de 0,75.

³⁶⁰ Axelrod, 1997, pp. 26 – 27

podrían encontrarse mediante un diseño deliberado, y que sin embargo pueden llegar a ser más efectivas que otras ya conocidas hasta el momento. Pero habrá que tener en cuenta que el éxito relativo de unas y otras será muy sensible al modo en que esté construida la simulación.

4.3.3 Recapitulación

Estas son las aportaciones que cabe extraer de un modelo informático más complejo, la mayoría de las cuales concuerdan con investigaciones ampliamente constatadas por otros autores. No en vano el DP es el modelo de interacción más empleado en la aplicación de la teoría de juegos a la filosofía moral. Otros resultados, especialmente los relacionados con las diferentes reglas de transición, no desdican el estado de la investigación alcanzado con otros modelos más simples, sino que lo amplían y complementan, tomando en consideración factores que hasta el momento no han sido suficientemente incorporados en el estudio de la evolución de conductas cooperativas. En particular cabe destacar que la regla Replicator dynamics, pese a ser la más empleada en modelos de evolución biológica no es la que mejor representa lo que serían procesos de evolución cultural. En este mismo sentido hemos podido constatar que en un modelo de reproducción asexual, *por imitación*, las conductas cooperativas se ven mucho más favorecidas que si representamos la dinámica evolutiva según un esquema de reproducción sexual, puramente biológico.

Para terminar quisiera discutir un punto que podría ser objeto de una crítica ya adelantada por Danielson. Hemos mostrado experimentalmente que la disposición en vecindarios fijos es decisiva para el surgimiento y estabilidad de disposiciones cooperativas. Esta confirmación experimental no sólo se desprende de las simulaciones, sino de la simple observación de la naturaleza. Tal como ya habíamos indicado siguiendo a Skyrms, los emparejamientos determinados por relaciones de vecindad son un caso particular del fenómeno, más general, de los emparejamientos correlativos. Entre éstos, el mecanismo de selección por parentesco (*kin selection*) es el que mejor explica la presencia de comportamientos altruistas en un mundo regido por la dinámica egoísta de la supervivencia del más apto. Pero al igual que los juegos iterados, Danielson entiende que el fenómeno de la selección por parentesco carece de importancia para una justificación última de la moralidad:

While the selfish gene theory might answer the question how selfish genes can lead to less selfish organism, it is irrelevant to the question why selfish organisms should be non- selfish.³⁶¹

³⁶¹ Danielson, 1992, pp. 42 – 43.

Sin embargo, aquí la razón es algo diferente que en el caso de los juegos iterados: ya no se trata de que la conducta cooperativa sea directamente maximizadora (*straightforward maximizing*) pues redundaría no en nuestro beneficio, sino en el de *otros* individuos. Desde el punto de vista planteado por Dawkins, las conductas altruistas sí son directamente maximizadoras, pero no en el nivel del individuo, que es el que nos interesa, sino en el del gen (egoísta). A mi juicio Danielson está en lo cierto al afirmar que la selección por parentesco es moralmente irrelevante, pero esto no equivale a decir que es irrelevante *porque ya va en nuestro propio beneficio ser altruistas* (como ocurría con la crítica a los juegos iterativos). Es irrelevante porque desde un planteamiento normativo no sería razonable prescribir las conductas cooperativas, aunque sea hacia nuestros familiares o entorno más próximo, arguyendo que con ello tenemos más probabilidades de perpetuar nuestros genes. Esto apunta a una idea básica que discutiremos más adelante: que el altruismo sea algo escrito en los genes no implica que nuestra capacidad de interesarnos por los demás carezca de una dimensión genuinamente moral. El desarrollo de esta discusión —lo que en general puedan aportar este tipo de aproximaciones naturalistas a la filosofía moral— se encuentra en el capítulo 5, pero entiendo que era conveniente anticiparlo aquí, por su vinculación a los resultados obtenidos en estas simulaciones.

4.4 Partir la tarta

Esta sección estará dividida en dos grandes partes. La primera está dedicada al juego “Partir la tarta” en su versión estática, *a una sola jugada* (UJ). En la segunda se añade a este mismo juego un componente dinámico, es decir, la iteración de jugadas (VJ = *varias jugadas*) entre un par de agentes, *siempre en el curso de una generación*.

En el enfoque UJ seguiré a Skyrms, manteniendo que si sólo contamos con unos requisitos mínimos de racionalidad, entonces *todos los equilibrios* que presenta el juego son seleccionables. Según veremos, es una tesis en principio discutible, pero defenderé que su rechazo sólo puede deberse a ciertas ideas previas (justicia, simetría) que podrían llevar a los jugadores a coordinarse implícitamente en la selección del equilibrio equitativo. Sin embargo, no hay motivos para presuponer ninguna de estas ideas. Por el contrario, éstas serían el resultado, bien de un proceso evolutivo, bien de un tipo de razonamiento aplicable a situaciones de negociación, que sería precisamente la solución que Nash (y Harsanyi y Zeuthen) proponen para resolver el problema de la selección de equilibrios.

En cuanto a la versión VJ, examinaremos las posibilidades que ofrecen ciertos refinamientos del equilibrio de Nash para racionalizar ciertos comportamientos observados — tanto en agentes artificiales como en sujetos reales— que no serían explicables con la noción más básica de equilibrio. Además, aunque el juego en sí *continúa siendo simultáneo*³⁶² en cada etapa, la iteración de dichas etapas lo convierte en un juego que necesita ser representado en *forma extensiva*. Esto nos llevará al análisis de juegos de información imperfecta e incompleta, que por su mayor complejidad exigen también tales refinamientos. Sin embargo, mostraré que los conceptos de *equilibrio perfecto en subjuegos* (EPS) y *equilibrio bayesiano perfecto* (EBP) no son necesarios para el análisis del juego tal como lo presento en la simulación. En este sentido, el principio de concesión de Zeuthen y Harsanyi (ZH) proporcionará una herramienta de análisis mucho más plausible para ciertas conductas observables en jugadores cuya racionalidad podemos suponer, pero que podrían desconocer la función de utilidad de la otra parte envuelta en la negociación.

Antes de comenzar conviene señalar que la longitud de esta sección es bastante mayor que la de otras, especialmente en comparación con los epígrafes dedicados a los restantes experimentos. Ello se debe a que analizaré con mucha prolijidad una serie de objeciones o interrogantes que pueden surgir a la hora de considerar bajo qué condiciones estarían actuando los agentes artificiales en una simulación de este tipo. Estas condiciones se refieren básicamente a la cuestión —fundamental para la teoría de juegos— del *conocimiento común*, tanto de la estructura matemática del juego (pagos, funciones de utilidad) como de la racionalidad de los jugadores. En cualquier caso, las dificultades que saldrán a la luz y las respuestas que daré son igualmente válidas para cualquier otro juego (no sólo Partir la tarta). El alcance general de estas observaciones, pues, justificará la dilatación de esta sección.

4.4.1 Partir la tarta a una sola jugada (UJ)

En este apartado analizaremos el primer juego del cual se vale Skyrms para mostrar los paralelismos entre evolución y elección racional. Skyrms va incluso más allá, y entiende que una dinámica evolutiva regida por la pura selección natural permite alcanzar resultados inaccesibles a la elección racional. Inaccesibles no porque queden fuera del alcance agentes totalmente racionales (como es el resultado cooperativo en el DP) sino simplemente, en este caso, porque la situación presenta varios equilibrios de Nash, para decidir entre los cuales carecemos de una

³⁶² El juego de Partir la tarta, si los movimientos de cada jugador son sucesivos *en una misma etapa*, cambia sustancialmente, convirtiéndose en el juego del Ultimátum, del cual nos ocuparemos en la sección 4.5.

razón suficiente. Esta afirmación dependerá, por supuesto, de qué postulados acerca de la racionalidad partamos al plantear el problema. En este sentido, el análisis de este juego servirá también para presentar la idea de “conocimiento común” (para abreviar utilizaremos la abreviatura en inglés CK = *common knowledge*).

El juego en cuestión, conocido como Partir la tarta (*Divide the cake* o *Divide the dollar*) lo presenta Skyrms como “el problema de la justicia” al inicio de *Evolution of Social Contract*:

Here we start with a very simple problem; we are to divide a chocolate cake between us. Neither of us has any special claim as against the other. Our positions are entirely symmetric. The cake is a windfall for us, and it is up to us to divide it. But if we cannot agree how to divide it, the cake will spoil and we will get nothing. [...]

Each of us writes a [...] claim to a percentage of the cake on a piece of paper, folds it, and hands it to a referee. If the claims total more than 100%, the referee eats the cake. Otherwise we get the claim. [...]

What will people do, when given this problem? [...] Almost everyone will claim half of the cake. In fact, the experiment has been done. Nydegger and Owen asked subjects to divide a dollar among themselves. There were no surprises. [...]

We think we know the right answer to the problem, but why is it right? In what sense is right? Let us see wheter *informed rational self-interest* will give us an answer. If I want to get as much as possible, the best claim for me to write down depends on what you write down. [...] Likewise, your optimum claim depends on what I write down. [...] A solution to our problem will consist of solutions to each optimization problem that are in *equilibrium*.

If we each claim half of the cake, we are at a strict Nash equilibrium. [...] However, there are many other strict Nash equilibria as well. Suppose that you claim $2/3$ of the cake and I claim $1/3$. Then we are again at a strict Nash equilibrium for the same reason. If either of us had claimed more, we would both have nothing, if either of us had claimed less, he would have gotten less. In fact, every pair of positive claims that total 100 percent is a strict Nash equilibrium.³⁶³

Podemos ya representar el juego en la siguiente tabla. Las celdas con los números subrayados representan los equilibrios de Nash.

Tabla 14

		Jugador 2 (J2)		
		Pide 2/3	Pide 1/2	Pide 1/3
Jugador 1 (J1)	Pide 2/3	0 ; 0	0 ; 0	<u>2/3 ; 1/3</u>
	Pide 1/2	0 ; 0	<u>1/2 ; 1/2</u>	1/2 ; 1/3
	Pide 1/3	<u>1/3 ; 2/3</u>	1/3 ; 1/2	1/3 ; 1/3

Además es necesario especificar que “their utilities derived from the distribution may, for all intents and purposes, be taken simply as the amount of money [o tarta] received”³⁶⁴. A lo largo de todo este capítulo quedará de manifiesto la importancia de especificar que ésta es la función de utilidad del juego en su forma básica. Dado que nos referiremos a ella reiteradamente, la denominaré simplemente u , y tendrá la forma $u(x) = x$.

Si la tarta fuese infinitamente divisible existirían infinitos equilibrios. Obligado aquí por la necesidad de simplificar la exposición me manejaré con esta versión simplificada, que aunque sólo tiene tres equilibrios recoge igualmente la esencia del problema.

³⁶³ Skyrms, 1996, pp. 4 – 5. También se ocupa de este juego en *Stag Hunt* (2004). La exposición del mismo es allí algo diferente y contiene algunas puntualizaciones adicionales, que incluyo en esta nota por lo que aportan a la discusión que emprenderemos:

“Two rational agents play the divide-the-dollar game. Their rationality is common knowledge. What do they do? *Any* combination of demands is compatible with these assumptions. For example, Jack may demand 90 percent thinking that Jill will only demand 10 percent on the assumption that Jill thinks that Jack will demand 90 percent and so forth, while Jill demands 75 percent thinking that Jack will demand 25 percent on the assumption that Jack thinks that Jill will demand 75 percent and so forth. *Any* pair of demands is *rationalizable*, in that it can be supported by a hierarchy of conjectures for each player, compatible with common knowledge of rationality. In the example given, these conjectures are quite mistaken.

Suppose we add the assumption that each agent somehow knows what the other will demand. Then any combination of demands that total the whole sum to be divided is still possible. For example, suppose that Jack demands 90 percent knowing that Jill will demand 10 percent, and Jill demands 10 percent knowing that Jack will demand 90 percent. Then each player is maximizing payoff given the demand of the other. That is to say that this is a *Nash equilibrium* of divide-the-dollar. If the dollar were infinitely divisible, then there would be an infinite number of such equilibria.

Experimental game theorists operating in a laboratory can control the situation so as to approach the ideal symmetry demanded by our specification of divide-the-dollar. If experimental game theorists have people actually play divide-the-dollar, they *always* split equally. This is not true in more complicated bargaining experiments where there are salient asymmetries, but it is true in divide-the-dollar. Rational choice theory has no explanation of this phenomenon”. (Skyrms, 2004, pp. 19).

³⁶⁴ Skyrms, 2004, p. 17

Llegados a este punto es preciso introducir la noción de “conocimiento común” (CK), introducida por Lewis³⁶⁵ y posteriormente formalizada por Aumann³⁶⁶. Formulada sintéticamente, CK de p , en un grupo G , significa que cada miembro de G sabe p , y que cada uno sabe que cada uno sabe p , y así *ad infinitum*.³⁶⁷

Skyrms afirma explícitamente que la racionalidad de ambos jugadores es CK, entendiendo por “racionalidad” la disposición a maximizar la utilidad esperada. Aunque menos claramente, podemos entender que Skyrms también supone el CK de que ambos jugadores conocen la función de utilidad de los dos jugadores³⁶⁸. Por tanto, podemos establecer:

- CK1. Ambos jugadores conocen la estructura del juego, es decir, no sólo la función de utilidad propia, sino la del otro jugador. Y *ambos* conocen estos hechos.
- CK2. Ambos jugadores son racionales, esto es, maximizadores bayesianos de la utilidad esperada. Y también aquí, los dos conocen este dato.

A CK2 Harsanyi lo denomina *postulados débiles de la racionalidad*:

In some special cases one can derive satisfactory criteria for rational behavior [...] without making stronger assumptions than that: (1) each player tries to maximize his own expected utility (postulate of *individual utility maximization* or of *individual rationality*); and that (2) each player expects (and acts on the expectation) that the other player(s) will also try to maximize his (their) own expected utility (postulate of *mutually expected rationality*).³⁶⁹

Me refiero ahora a Harsanyi porque su análisis de estos postulados en la teoría de juegos cooperativos ayudará a disipar algunas perplejidades que puede suscitar el planteamiento de Skyrms. Ciertamente, como el título indica, en este artículo Harsanyi se ocupa de la teoría de juegos *cooperativos*, pero Harsanyi emplea de todos modos estos mismos postulados también para su tratamiento de juegos *no cooperativos*³⁷⁰, con lo cual valdrán igualmente para este juego de Partir la tarta. Esta generalización de una solución para ambos tipos de juego está en la línea del llamado “programa de Nash”, consistente en reducir los juegos cooperativos a juegos no cooperativos³⁷¹.

³⁶⁵ Cfr. Lewis, 1969

³⁶⁶ Cfr. Aumann, 1976

³⁶⁷ Cfr. Bicchieri, 2004, pp. 189 y ss.

³⁶⁸ Parto de que Skyrms (2004, p. 17) cuenta con el conocimiento común de las funciones de utilidad de los jugadores porque afirma que la situación que plantea es la misma analizada por Nash en “The Bargaining Problem”. Y allí, por su parte, Nash (1950b) afirma el conocimiento mutuo de los gustos y preferencias. Pronto veremos que esta misma suposición se puede atribuir a Harsanyi, también por su referencia a Nash (aunque en el caso de Harsanyi hay más razones que justifican esta interpretación).

³⁶⁹ Harsanyi, 1961, p. 179

³⁷⁰ Cfr. Harsanyi, 1962a

³⁷¹ Cfr. Nash, 1950b. En este artículo Nash señala la equivalencia entre el juego de negociación que se propone analizar y un juego de suma *no* cero tal como lo presentan von Neumann y Morgenstern en *Theory of Games and*

En cuanto a CK1, Harsanyi no lo adopta explícitamente en estos dos artículos a los que me remito ahora, pero podemos aceptar que también cuenta con ello. Lo podemos suponer muy razonablemente por dos motivos. El primero ya lo he indicado al referirme a Skyrms: al analizar este juego de regateo, Harsanyi también se refiere explícitamente a la solución de Nash³⁷², quien por su parte declara que “the two individuals are highly rational, [...] each can accurately compare his desires for various things [...] and each has full knowledge of the tastes and preferences of the other”³⁷³. Lo que es más importante, en segundo lugar, si no hay CK1, aunque cada jugador conozca sus pagos y los del otro, tenemos un juego de información incompleta, pues un jugador (J1) no puede estar seguro de que el otro (J2) conoce sus preferencias (las de J1) con lo cual queda alterada la naturaleza estratégica del juego³⁷⁴. Y sin embargo el tratamiento de *juegos de información incompleta* es muy diferente del que Harsanyi emplea aquí. En efecto, es el propio Harsanyi quien propuso el método más conocido para resolver estos juegos de información incompleta, y en el análisis que nos ocupa ahora no se refiere en absoluto al mismo³⁷⁵.

Así, pues, tenemos CK1 y CK2. Y sin embargo, Skyrms sostiene que todos los equilibrios de este juego son igualmente racionalizables. En particular, desarrolla las conjeturas que un jugador podría hacerse acerca de si el otro podría pedir una porción de la tarta que no fuese exactamente la mitad. Este tipo de especulaciones, en principio, parecen implicar una negación de CK2. Pues si aceptamos CK2 (y CK1) el razonamiento de ambos jugadores sería algo así como:

- 1) Soy racional, y por lo tanto quisiera $2/3$ de la tarta. Pero sé que él también es racional, y que por consiguiente querrá lo mismo. Sin embargo, si ambos nos proponemos maximizar de esta manera nuestra utilidad, al final no conseguiremos nada.
- 2) Tampoco voy a pedir $1/3$, porque de acuerdo con (1) no tengo motivos para suponer que él pedirá $2/3$. Y si él no pide $2/3$, no estoy siendo racional (no maximizo mi utilidad) pidiendo $1/3$.

Economic Behavior (1947).

³⁷² Véase por ejemplo Harsanyi (1977, p. 144)

³⁷³ Nash, 1950b, p. 155

³⁷⁴ Por lo menos en un juego como el que aquí nos ocupa, donde ningún jugador dispone de una estrategia pura. “Lack of information about the mathematical structure of a game may take many different forms. The players may lack full information about the other players’ (or even their own) payoff functions, [...] or about the strategies available to other players (or even to themselves), or about the amount of information the other players have about various aspects of the game [...]”. Harsanyi, 1994, p. 138. En este artículo se encuentra la exposición más accesible de este método, fundado en el artificio conceptual de considerar *posibles tipos de jugadores* como protagonistas de un juego.

³⁷⁵ Cfr. Harsanyi, 1994

- 3) Por consiguiente, sólo me resta pedir $1/2$. Y sabiendo que él es racional en el mismo sentido en que yo lo soy, deduzco que en su razonamiento habrá pasado por (1) y (2), hasta llegar a esta misma conclusión (3). Por tanto, ambos pediremos $1/2$ de la tarta, simplemente contando con de CK1 y CK2.

Puesto que más adelante volveremos reiteradamente sobre este razonamiento, en lo que sigue me referiré a él como RCK. Por su parte, RCK probaría la falsedad de que *todos los equilibrios son racionalizables* (supuestos CK1 y CK2), tesis a la cual denominaré TER. Con todo lo verosímil que pueda parecer, entiendo que RCK es incorrecto. La apariencia más o menos razonable puede deberse al modo en que lo he desarrollado, aunque creo haber caracterizado apropiadamente lo que muchos de nosotros estamos inicialmente inclinados a pensar en una situación así. Para evitar cualquier ambigüedad, haré un análisis más formal de este tipo de deliberación estratégica, a fin de probar que la selección del equilibrio equitativo no se sigue lógicamente de CK1 y CK2.

Conviene empezar notando que en esta situación juegan un papel fundamental las *creencias* de lo que *hará* el otro jugador, y las *creencias* acerca de lo que él cree que nosotros haremos, etc. Ser racional, maximizar la utilidad esperada, implicará tener en cuenta esta cadena de creencias. *Ser racional no es simplemente querer $2/3$ de la tarta*. Querer el máximo posible es una preferencia sobre un resultado, pero no tiene por qué coincidir con la preferencia sobre una acción. Estas dos cosas es lo que se confunde en la primera premisa de RCK. Para formalizar y simplificar, me valdré de la siguiente notación, que introduciré con algunos ejemplos:

$J_1 = 2/3$ significa: el Jugador 1 *elegirá* la estrategia “pedir $2/3$ ” (o también *elige* o *ha elegido*, cuando se trate de acciones que ocurren o han ocurrido).

$J_1 \neq 1/2$ significa: el Jugador 1 *elegirá* una estrategia diferente de “pedir $1/2$ ”.

$J_2 > 1/3$ significa: el Jugador 2 *elegirá* pedir más de $1/3$.

$J = 1/3$ significa: *algún* jugador en general (ni J_1 ni J_2) *elegirá* la estrategia “pedir $1/3$ ”

$J_1 - J_2 = 1/3$ significa: el Jugador 1 *cre*e que el Jugador 2 *elegirá* la estrategia “pedir $1/3$ ”

y así sucesivamente, por ejemplo:

$J_2 - J_1 - J_2 = 1/2$ significa: el Jugador 2 cree que el Jugador 1 cree que el Jugador 2 *elegirá* la estrategia “pedir $1/2$ ”.

Aunque una creencia puede tener por objeto otra creencia, el objeto último ha de ser aquello que alguno de los jugadores *hará*. Una secuencia infinita de creencias y metacreencias no tendría ningún sentido: J1-J2-J1-J2-... *ad infinitum*.

En principio no hay límite para la longitud en la *expresión* de estas creencias. Sin embargo, para dos jugadores la repetición de signos más allá de 4 metacreencias no añade nada a *aquello* que estamos expresando. Por ejemplo, J1-J2-J1 = 2/3 es exactamente lo mismo que J1-J2-J1-J2-J1=2/3.

Lo que parece invalidar TER es la pregunta: ¿por qué creería J1 que J2 va a pedir 2/3 de la tarta? A lo que responderíamos: porque podría creer que J2 cree que J1 pedirá 1/3 de la tarta. Podemos repetir estas preguntas varias veces, aplicadas a ambos jugadores, de lo que resulta el siguiente par de creencias:

i) $J1-J2-J1 = 2/3$

ii) $J2-J1-J2 = 2/3$

Obsérvese que cualquiera de las dos creencias podría ser tanto correcta como equivocada, pero incluso si *ambos* jugadores se equivocasen en sus respectivas expectativas, cada una en sí misma sigue siendo lógicamente coherente³⁷⁶. El peso de la prueba cae sobre RCK, que deberá demostrar que estas creencias no son posibles, supuestos CK1 y CK2. Si volvemos ahora a la primera premisa de RCK, la podríamos formular como:

iii) $J1-J2 = 2/3$

iv) $J2-J1 = 2/3$

De lo cual ambos agentes sacaban la conclusión de que ninguno pedirá 2/3. Sin embargo, lo único que se sigue lógicamente de (iii) y (iv) es que ambos elegirán 1/3. Será el caso que acabo de apuntar: ambos se habrán equivocado en sus creencias, pero como tales, antes de la acción, no están en conflicto con CK1 y CK2.

Para que $J1 = 2/3$ o $J1 = 1/3$ basta con que $J1-J2 = 1/3$ o $J1-J2 = 2/3$, respectivamente. RCK niega que esto sea posible. Pero lo tiene que negar de un modo diferente del expresado en la primera premisa. Intentemos el siguiente razonamiento.

v) $J1-J2 = 2/3$ no es posible porque no es posible que:

³⁷⁶ Dicho de otro modo: las dos creencias no serían lógicamente compatibles si cada jugador *supiese* lo que cree el otro. La tentación de caer en este tipo de razonamientos simétricos es permanente, pero la creencia de un jugador no puede determinar causalmente la creencia del otro.

- vi) $J1-J2-J1 = 1/3$ ¿Y por qué no es posible (vi)? No es posible porque no es posible que:
- vii) $J1-J2-J1-J2 = 2/3$ Y esto nos retrotrae a (v), lo cual es tanto como decir que (v) no es posible porque (v) no es posible.

Tal vez la clave para anular TER esté en considerar la coherencia conjunta de las creencias de los dos jugadores. Este camino es algo sospechoso, porque podría estar partiendo de un supuesto inaceptable, a saber, que las creencias de un sujeto dependen causalmente de las creencias de otro. Sin embargo, podemos intentarlo:

- (v) no es posible porque no es posible que:
- (viii) $J2-J1 = 1/3$ y (viii) no es posible porque no es posible que:
- (ix) $J2-J1-J2 = 2/3$ y (ix) no es posible porque no es posible que:
- (x) $J2-J1-J2-J1 = 1/3$

Esto nos devuelve al punto de partida (viii), repitiéndose la misma circularidad que encontrábamos antes: (viii) no es posible porque no es posible que (viii). Es fácil ver que lo mismo ocurrirá si en cualquier punto de un razonamiento saltamos a la cadena de creencias del otro jugador.

Por lo tanto, afirmamos TER porque todas las creencias acerca de lo que *hará* el otro son posibles (aunque *a posteriori* resulten ser creencias equivocadas). Y por lo que alcanzo a ver, intentar demostrar que *no* son posibles adopta siempre la forma de un argumento circular. RCK parte de la confusión entre preferir un resultado y preferir una acción. Supone que ambos jugadores consideran imposible algo cuya imposibilidad no se puede demostrar. En cualquier caso, este error de apreciación es un hecho psicológico no sólo posible, sino incluso habitual.

Ahora bien, RCK no es propiamente un error, pues lo que subyace a este razonamiento informal no es otra cosa que la solución, perfectamente formal, que propone Nash para este tipo de juegos. Sin embargo, la solución de Nash requiere hacer explícitos algunos supuestos más que CK1 y CK2, tal como veremos enseguida. Harsanyi demostraría posteriormente que la solución de Nash es equivalente a la que Zeuthen había ideado en 1930³⁷⁷. Por ello en la literatura se le suele dar a esta solución el nombre de los tres autores, abreviado como “procedimiento NZH”³⁷⁸. La idea de que todos los equilibrios son racionalizables no nos parecerá ahora tan chocante si pensamos que el procedimiento NZH responde precisamente a la necesidad de encontrar racionalmente (sin presuponer ninguna disposición moral relativa a la equidad) *un único*

³⁷⁷ Cfr. Harsanyi, 1956

³⁷⁸ Una exposición especialmente clara de la solución de Nash y del principio de concesión de Zeuthen se encuentra en Blanca Rodríguez (1991, capítulo V y apéndice 6).

equilibrio entre los múltiples que ofrece el juego. De hecho, el propósito de Nash al proponer su modelo de negociación —tanto para juegos no cooperativos como cooperativos, reduciendo éstos a aquellos— era encontrar una solución precisa a lo que von Neumann y Morgenstern habían dejado como un *rango de posibles soluciones*³⁷⁹.

También Harsanyi incide en este punto, al afirmar que:

As the postulates of individual utility maximization and of expected rationality [CK2] do not define a unique determinate solution for the simple bargaining game, Nash has suggested certain further postulates which achieve this purpose. [...]

Among the new postulates, the efficiency postulate is the natural extension [...] of the utility maximization postulate. Rational pursuit of self interest by the two players not only requires that they should individually maximize their utilities and should choose efficient individual strategies. It also requires that they should choose individual strategies which taken in conjunction, represent an efficient *joint strategy*.³⁸⁰

Siguiendo a Harsanyi llamaremos “postulado de la eficiencia” a este nuevo supuesto³⁸¹. En nuestro ejemplo, el postulado de la eficiencia excluye que ambos jugadores escojan 1/3, o que ambos pidan 2/3. Sin embargo, todavía podría ocurrir que uno de ellos pida 1/3, y el otro 2/3. Este resultado sería conjuntamente eficiente. Para eliminarlo habrá que identificar como conducta irracional que un jugador pida 1/3. Y para que sea irracional pedir 1/3 habrá que añadir un nuevo postulado, que Harsanyi llamará “de la simetría”:

Its purpose is to exclude bargaining strategies that a given player could adopt only on the expectation that the other player would follow a different, and less rational, bargaining strategy. In particular, it wants to rule out that a player should act on the expectation that a rational opponent would make a concession in a situation in which he himself, following his own criteria of rational behavior, would refuse to make a concession.³⁸²

Los postulados de Harsanyi no son una explicación o explicitación de por qué $J \neq 1/2$ es irracional, sino que $J \neq 1/2$ es irracional porque se introducen estos postulados. En cualquier caso, lo cierto es que proporcionan las premisas que necesitaba RCK para ser realmente concluyente. Ahora incluiremos en el conjunto de conocimientos comunes la aceptación de estos dos nuevos principios por parte de ambos jugadores. Denominaremos:

³⁷⁹ Cfr. Nash, 1951

³⁸⁰ Harsanyi, 1961, pp. 183 - 184

³⁸¹ Por otro lado, se trata de eficiencia de Pareto, que es un requisito mínimo de eficiencia *social*.

³⁸² Harsanyi, 1961, p. 185

- CK3 al conocimiento común de que ambos jugadores adoptan estas extensiones del principio de maximizar la utilidad esperada.

Por tanto, Skyrms no niega la validez del procedimiento NZH, sino que se queda en el estado previo a éste, sin contar con CK3. Podemos concluir que el propósito de Skyrms es mostrar que agentes mínimamente racionales, que sólo cuentan con CK1 y CK2 pueden llegar, via selección natural, al mismo resultado que propone la solución NZH, esto es, pedir la mitad de la tarta.

Pero si la selección natural la aplicamos a agentes artificiales que ni siquiera cuentan con CK2, el test se vuelve más exigente. Skyrms parte de CK2 cuando explica la estructura del juego. Aunque no indica después si los agentes de sus simulaciones realmente cuentan con CK2, todo parece indicar que no, pues se trata de algoritmos muy simples. En *Bichos*, y para este juego de partir la tarta *UJ*, no habría por qué suponer CK2: el observador externo (el usuario) puede interpretar —a la vista de las “conductas” efectivas— que un agente artificial, *J1*, *conoce las funciones de utilidad de ambos jugadores (J1 y J2)*, y también puede interpretar que *J1 y J2 son siempre maximizadores bayesianos*. Sin embargo, lo que *el usuario no tiene por qué suponer es que J1 sabe que J2 es un maximizador bayesiano*³⁸³. Pero esto es *una interpretación*, y según he mostrado, todos los agentes podrían tener CK1 y CK2, y aun así, escoger *racionalmente* esas estrategias que según RCK no serían racionales.

Si no se acepta que TER, entonces habrá que descartar CK2, o si no, buscar aun *otra interpretación* del juego, a fin de justificar por qué algunos algoritmos piden porciones que no son exactamente la mitad de la tarta. La otra alternativa, pues, sería eliminar CK1, lo cual nos sitúa en un juego de información incompleta. Pero en este caso ya no estaríamos en el juego que hemos venido considerando hasta aquí. Si los jugadores no tienen un conocimiento mutuo de sus funciones de utilidad, en realidad *podrían estar jugando a cualquier juego*. Cuando tratemos el juego Partir la tarta *VJ*, estudiaremos las consecuencias que tiene esta interpretación.

En resumen: para encontrar un sentido racional a *cualquier* decisión que se tome en partir la tarta *UJ*, no es necesario renunciar ni a CK1 ni a CK2. Simplemente, CK1 y CK2 no implican que alguno de los muchos equilibrios del juego sea más racional que otro³⁸⁴.

Antes de pasar a detallar los resultados de estos experimentos virtuales, hay que referirse brevemente a los experimentos realizados con sujetos reales.

³⁸³ Ni a la inversa, que *J2 sabe que J1 es un maximizador de la utilidad esperada*.

³⁸⁴ Si hubiese que renunciar a CK1 o a CK2, la simulación permite descartar cualquiera de los dos.

In a famous series of experiments, Menachem Yaari and Maya Bar-Hillel (1981) asked people to judge the just distribution of goods in hypothetical circumstances. Their answers show that optimality and equity are powerful operative principles. Disagreements arose in those cases in which these principles could be applied in more than one way. We have carefully circumscribed our bargaining problem so that the application of the principles is unambiguous. The equal split in divide-the-dollar is the least controversial example that we have of dividing justly.

[...] If experimental game theorists have people actually play divide-the-dollar, they *always* split equally. [...] Rational choice theory has no explanation of this phenomenon.³⁸⁵

Si CK1 y CK2 son insuficientes para explicar este fenómeno, podemos apelar a alguna de estas causas:

- 1) Los jugadores conocen el procedimiento NZH y añaden CK3 a sus conocimientos comunes.
- 2) Los jugadores tienen alguna preferencia “moral” por los resultados equitativos.
- 3) Los jugadores tienen una preferencia por el resultado equitativo, pero no debido a alguna inclinación moral previa, sino porque el equilibrio equitativo les parece de algún modo “llamativo” (acaso por su simetría) de acuerdo con la teoría de los “focal points” propuesta por Schelling para dar cuenta de este tipo de fenómenos.³⁸⁶

Sería difícil concluir a partir de las meras observaciones cuál de las tres ha sido la razón subyacente. Incluso si el motivo es (1) no hace falta suponer que estos sujetos experimentales son especialistas en teoría de juegos que han estudiado las soluciones de Nash o Harsanyi. Bastaría con aceptar que de algún modo todos contamos con una versión implícita de esta solución, reflejada en RCK.

Obsérvese que el problema de los economistas y teóricos de juegos experimentales es que se encuentran con un resultado experimental *no* predicho por la teoría —a menos que consideremos la teoría con las ampliaciones que proponen Nash o Harsanyi— y han de “suponer” por ello ciertas disposiciones en las personas, sin que sea posible resolver la causa de por qué tienen dichas disposiciones. Los juegos evolutivos proporcionan un modo natural de recomenzar sin estas suposiciones y ver si los resultados finales coinciden con los de la

³⁸⁵ Skyrms, 2004, pp. 18 – 19

³⁸⁶ *Cfr.* Schelling, 1960, pp. 54 – 58, 111 – 118. Cabe destacar el siguiente comentario (p. 113): “We must avoid assuming that everything the analyst can perceive is perceived by the participants in a game [...]. In particular, game characteristics that are relevant to sophisticated mathematical solutions [...] might not have this power of focusing expectations and influencing the outcome. They might have it only if the players perceived each other to be mathematicians. This may be the empirical interpretation of such ‘solutions’ as those of Braithwaite, Nash, Harsanyi, and others”. Evidentemente, esto no afecta a que una solución matemática quede demostrada como *la* solución racional. Pero nuevamente, esto dependerá de cuán fuertes sean los postulados que definen la racionalidad. Podría también ser el caso que el equilibrio equitativo fuese un punto focal debido a su carácter “justo” y no a su simetría, de modo que (2) sería un caso particular de (3).

economía experimental. Un planteamiento evolutivo *no* cuenta con ninguna de estas tres respuestas (y mucho menos si se trata de agentes cuya racionalidad y conocimientos comunes son tan restringidos que sólo incorporan CK1). Por el contrario, un enfoque desde la teoría de juegos *evolutiva* explica por qué, llegado el caso, los sujetos reales somos capaces de aplicar alguno de estos tres criterios a la hora de resolver situaciones como las planteadas en este juego de “partir la tarta”. La racionalidad, el conocimiento común de la misma, e incluso la moralidad, son el resultado, y no el punto de partida.

Ahora sí, podemos examinar las simulaciones ensayadas por Skyrms, que se caracterizan por las siguientes condiciones³⁸⁷, que reproduzco en el archivo **PartirTarta_Skyrms.dpt**³⁸⁸:

- Los emparejamientos son al azar.
- La regla de transición es Replicator dynamics.
- Skyrms no indica con cuántos individuos interactúa un agente en cada generación. Supondremos que sólo uno, aunque en *Bichos* tendrán que ser al menos 4³⁸⁹.
- No hay iteraciones. Tampoco tendría sentido que las hubiese, pues las estrategias no son sensibles, ni observan los comportamientos ajenos, sino que efectúan siempre el mismo tipo de movimiento.
- El número de estrategias es finito, más concretamente 11, correspondientes a la porción de tarta que piden: $n / 10$, donde n es un número entero entre 0 y 10. Como quedó indicado en el punto anterior, cada una de estas estrategias pide *siempre* una determinada porción, es decir, su respuesta es totalmente invariable³⁹⁰.
- Estas 11 estrategias están distribuidas uniformemente al azar, esto es, ninguna tiene una ventaja inicial con más miembros en la población.
- No hay mutaciones.

³⁸⁷ Cfr. Skyrms, 2004, p. 21

³⁸⁸ Para que esta simulación funcione hay que marcar la casilla **Partir la tarta** en la ventana que contiene el “mapa” del mundo.

³⁸⁹ En cualquier caso, experimentos posteriores efectuados con mi simulación muestran que el número de vecinos, ya sean fijos o al azar, no determina ninguna diferencia en los resultados.

³⁹⁰ Cada una de estas estrategias, pues, estaría representada gráficamente (función de cooperación) como $y = n$, siendo n una constante que tomará valores entre 0 y 10.

Los resultados que extrae Skyrms de su modelo son concluyentes:

Equal division always has the largest basin of attraction, and it is always greater than the basins of attractions of all the polymorphic pitfalls combined.³⁹¹

Más en concreto, Skyrms presenta en una tabla los tipos de equilibrios evolutivos a los que se ha llegado en 100.000 experimentos³⁹².

Tabla 15

Fair Division	62.209
4 – 6 Polymorphism	27.469
3 – 7 Polymorphism	8.801
2 – 8 Polymorphism	1.438
1 – 9 Polymorphism	38
0 – 10 Polymorphism	0

Aquí es donde se presenta la única diferencia respecto de los resultados obtenidos con *Bichos*. Con sólo 100 experimentos, la población compuesta por individuos “justos” ha llegado a ser *siempre* evolutivamente estable al cabo de pocas generaciones.

En realidad, si abandonamos por un momento el enfoque experimental y nos centramos en un puro análisis de lo que predice Replicator dynamics, descubrimos que todos estos polimorfismos sólo son explicables partiendo de una población inicial donde se da cierta ventaja a las estrategias que finalmente resultan evolutivamente estables. Consideremos la cuestión mediante el siguiente esquema. En la primera columna de la tabla 16 (*infra*) se indican los nombres de las 11 estrategias posibles S1 ... S10, según la porción $x/10$ de tarta que piden. En la fila superior encontramos otra vez estos nombres, pero con un número entre paréntesis, que indica la proporción inicial (en tanto por ciento) que ocupa cada estrategia al comenzar la simulación. Este número, pues, indica la probabilidad de interactuar con un determinado tipo de estrategia, puesto que habíamos estipulado que los emparejamientos se producen al azar. En las celdas interiores se indica el rendimiento que obtiene una cierta estrategia al jugar con un tipo determinado. Pongamos por caso S10 contra S10 (celda sombreada): no consigue nada, pues las demandas de ambas sumadas sobrepasan el 100% de la tarta. Pensemos otro ejemplo más “productivo”: S4 contra S6 (celda sombreada): aquí S4 obtendría 40 “puntos”, pues su demanda es compatible con los 6/10 que pide S6. Ahora bien, la probabilidad de que un jugador S4 se encuentre con un jugador S6 es 0,91, de manera que el rendimiento esperado de S4 contra S6, tal como están distribuidas las estrategias, es $40 \cdot 0,91 = 36,4$. En la última columna se encuentra la suma de todos estos rendimientos esperados, lo que indica el rendimiento adaptativo medio de cada estrategia. Así, podemos observar que comenzando por una población con los 11 tipos de

³⁹¹ Skyrms, 2004, p. 21

³⁹² Skyrms, 2004, p. 22

estrategia uniformemente distribuidos, las estrategias más exitosas son S5 y S6 (celdas sombreadas). Ahora bien, Replicator dynamics calcula cómo varían las proporciones de cada estrategia según su éxito $U(x)$ en relación con el rendimiento promedio de la población U . Y puesto que aquí S5 y S6 tienen un rendimiento superior al rendimiento medio de la población, crecerá el número de individuos que las empleen en la próxima generación. Lo que permite una simulación es observar este proceso ahorrándonos la repetición de cálculos. En la hoja **PartirTarta_Replicator dynamics.xls** he incluido varias tablas como ésta, en la que se pueden ir modificando las proporciones iniciales, a fin de ir siguiendo los distintos cursos evolutivos mediante un puro cálculo, sin recurrir siquiera a la simulación³⁹³.

Tabla 16

	S10 (9,1)	S9 (9,1)	S8 (9,1)	S7 (9,1)	S6 (9,1)	S5 (9)	S4 (9,1)	S3 (9,1)	S2 (9,1)	S1 (9,1)	S0 (9,1)	Total U(x)
S10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	91
S9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81,9	81,9	163,8
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	72,8	72,8	72,8	218,4
S7	0	0	0	0	0	0	0	63,7	63,7	63,7	63,7	254,8
S6	0	0	0	0	0	0	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	273
S5	0	0	0	0	0	45	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	272,5
S4	0	0	0	0	36,4	36	36,4	36,4	36,4	36,4	36,4	254,4
S3	0	0	0	27,3	27,3	27	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	218,1
S2	0	0	18,2	18,2	18,2	18	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	163,6
S1	0	9,1	9,1	9,1	9,1	9	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	90,9
S0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En definitiva, siguiendo el curso marcado por la ecuación Replicator dynamics, las poblaciones tienden siempre a estar compuestas por individuos que seleccionan, entre los múltiples equilibrios de Nash, el resultante de que ambos jugadores pidan la mitad de la tarta. La selección natural conduce al mismo resultado que se alcanzaría atendiendo a la propuesta de Nash para resolver un juego de regateo. Con la ayuda de la tabla acabamos de analizar cuál es la razón de que sea éste, entre los diversos equilibrios posibles, el que resulta seleccionado mediante la lógica darwinista. La explicación que nos ofrece Skyrms queda condensada en el siguiente párrafo:

The strategy demand 100% is an equilibrium, but an unstable one. In a population in which everyone demands 100%, everyone gets nothing, and if a mutant popped up who made a different demand against 100 percenters, she would get also nothing. But suppose that a small proportion of modest mutants arose who demanded, for example, 45%. Most of the time they would be paired with 100 percenters and get nothing, but some of the time they would be paired with each other and get 45%. On average their payoff would be higher than that of the population, and they would increase.

³⁹³ En dicha hoja, las proporciones iniciales se pueden modificar en las celdas azules de la línea 17. En verde he ido marcando las proporciones de la estrategia S5 a lo largo de las primeras 10 generaciones, que bastan para ver cómo S5 se va extendiendo rápidamente por toda la población.

On the other hand, demand 50% is a stable equilibrium. In a population in which everyone demands half of the cake, any mutant who demanded anything different would get less than the population average. Demanding half of the cake is an *evolutionary stable strategy* in the sense of Maynard Smith and Price.³⁹⁴

En las páginas siguientes Skyrms aborda el análisis de las llamadas “trampas polimórficas”, esto es, poblaciones en equilibrio, pero compuestas por estrategias modestas, que piden menos de la mitad, y por otras más codiciosas, que piden más de la mitad. Sin embargo, y como acabo de señalar, estos equilibrios polimórficos necesitan ser favorecidos por poblaciones iniciales que contengan más individuos utilizando este tipo de estrategias no equitativas³⁹⁵. Sólo llama la atención que Skyrms no lleve a cabo este tipo de análisis —que por ejemplo sí emplea para el juego Ultimátum³⁹⁶— limitándose a observar que: “the best we might say on the basis of pure Replicator dynamics is that fixation of fair division is more likely than not, and that polymorphisms far from fair division are quite unlikely”³⁹⁷.

4.4.2 Partir la tarta a varias jugadas (VJ)

Antes de pasar a la otra serie de simulaciones, que incluyen las posibilidades adicionales de *Bichos* (tanto en los agentes como en el entorno), es preciso comentar un aspecto relacionado con la repetición de jugadas en Partir la tarta, y en qué medida esto podría considerarse un juego dinámico, en el que los jugadores van haciendo movimientos para ver qué hace el otro. Si éste fuese el caso, el modelo estaría representando agentes que emplean el principio de concesión de Zeuthen. El examen de esta posibilidad será el último punto de un recorrido que iniciaremos ahora, repasando algunos refinamientos del equilibrio de Nash. En cada caso nos detendremos en los problemas que suscitaron su desarrollo, pues no se trata sólo de una cuestión histórica, sino de reconocer si dichos problemas afectan al juego que nos ocupa en este capítulo.

³⁹⁴ Skyrms, 1996, pp. 10 – 11

³⁹⁵ En **PartirTarta_Skyrms_6_4.dpt** hay grabada una partida con una configuración inicial que favorece a las estrategias S4 y S6. Para que la simulación funcione correctamente hay que marcar la casilla **Partir la tarta** en la ventana **World**. Para cambiar las proporciones iniciales de las estrategias, véase el epígrafe 9 del Apéndice A.

³⁹⁶ *Cfr. infra* 4.5

³⁹⁷ Skyrms, 2004, p. 22

4.4.2.1 Refinamientos del equilibrio de Nash

Hemos visto que en el juego UJ, la demanda de *cualquier* cantidad de la tarta —y no sólo de la mitad— puede explicarse en términos de las creencias que un jugador podría tener acerca de las creencias del otro. Esto no nos obliga a renunciar a CK1. Estas creencias son compatibles con el conocimiento mutuo de las funciones de utilidad, que por no alejarnos del supuesto más simple podemos considerar como $u(x) = x$. Y también he afirmado que para sostener esto tampoco necesitamos eliminar CK2.

La diferencia fundamental que se introduce en VJ es que estas conjeturas acerca de la racionalidad del otro se pueden ir *confirmando* o desmintiendo por las conductas observadas en interacciones previas. Así, partiendo de ciertas creencias iniciales (*prior beliefs*) y actualizándolos según la regla de Bayes, los jugadores pueden ir haciéndose una idea del *tipo* de jugador al que se están enfrentando. El uso del término “tipo” no es casual, sino que se refiere a un concepto fundamental en la solución que propone Harsanyi para los juegos de información incompleta³⁹⁸.

Aunque era una posibilidad, a la hora de explicar conductas no equitativas en UJ no necesitábamos prescindir de CK1 ni de CK, ni postular jugadores con funciones de utilidad diferentes de las que definen el juego Partir la tarta. En VJ, por el contrario, ésta última también es una eventualidad a tener en cuenta, y no sólo desde el punto de vista de un observador externo (el usuario), sino desde la perspectiva de los propios individuos que intervienen en la interacción. Consideremos el siguiente caso. En la primera jugada J1 observa que J2 pide 2/3 de la tarta. Ello podría deberse a que J2 simplemente prefiere “pedir 2/3”, independientemente del trozo de tarta que recibe. Su función de utilidad ya no sería entonces una dependencia directa de la magnitud de la tarta. Sus preferencias podrían ser, por ejemplo, $u(x) = \text{“pedir } x\text{”}$. Valga esta notación poco ortodoxa —a la que volveré a referirme— para expresar el hecho de que J2 se encuentra siempre tanto más satisfecho cuanto más exige. Si J1 (y no sólo J2) supiese en efecto que tal es la función de utilidad de J2, el juego ya no sería partir la tarta, sino este otro.

Tabla 17

		Jugador 2 (J2)		
		Pide 2/3	Pide 1/2	Pide 1/3
Jugador (J1)	Pide 2/3	0 ; 2/3	0 ; 1/2	2/3 ; 1/3
	Pide 1/2	0 ; 2/3	1/2 ; 1/2	1/2 ; 1/3
	Pide 1/3	<u>1/3 ; 2/3</u>	1/3 ; 1/2	1/3 ; 1/3

³⁹⁸ Cfr. Harsanyi, 1967 – 68

Evidentemente, como “estado de cosas en el mundo”, sigue siendo cierto que si la suma de lo que piden ambos supera la totalidad de la tarta, ninguno se lleva nada, de forma que para J1 sigue siendo totalmente válido que $u(x) = x$.

Podríamos definir que éste es el juego, y analizar sus equilibrios (hay un solo equilibrio de Nash, subrayado en la tabla). Pero de hecho, en este contexto evolutivo, no hay ningún motivo que nos autorice a definirlo así, en lugar de considerar alguna otra de las miles de funciones de utilidad que podría tener cada jugador. Que J2 haya escogido “pedir 2/3” sería perfectamente compatible con la hipótesis de que su función de utilidad es la habitual, es decir, $u(x) = x$. Visto desde fuera, atendiendo sólo a las acciones observadas, no podemos saber si la función de utilidad de alguno de los jugadores *no* es $u(x) = x$ pero sí hay CK1, o si no hay CK1 y las funciones de utilidad son cualesquiera otras.

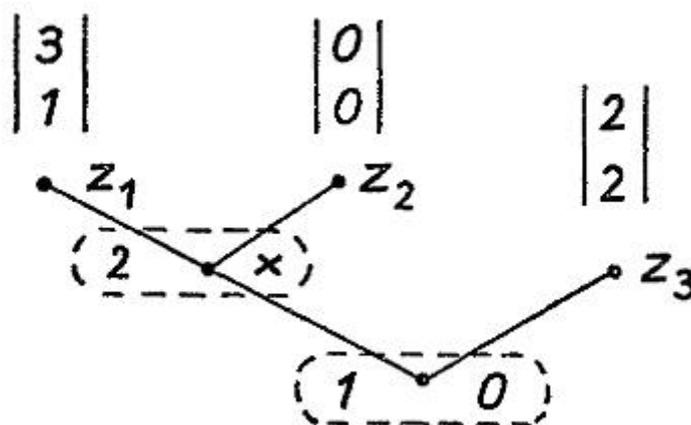
Veamos si hay algún modo de adoptar alguna decisión óptima, a pesar de estas combinaciones potencialmente infinitas de tipos de jugadores, que nos llevan a juegos de información incompleta notablemente intrincados. Para ello examinaremos la noción de equilibrio bayesiano perfecto (EBP), pero antes convendrá mencionar brevemente otro concepto, el equilibrio perfecto en subjuego (EPS), que permite determinar soluciones en casos donde el equilibrio de Nash resulta insuficiente. Esta referencia al EPS será necesaria porque EBP es a su vez un refinamiento de EPS, que permite identificar equilibrios en juegos de información incompleta e imperfecta.

4.4.2.1.1 Equilibrio perfecto en subjuegos

La idea de EPS la propuso Selten en un ensayo de 1965, “Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfragerträgeit”, movido por las necesidad de eliminar equilibrios que resultan de amenazas no creíbles. La misma noción de amenaza nos sitúa en juegos que sólo se pueden representar en su forma extensiva. El equilibrio de Nash es un concepto cuya aplicación se limita a juegos en forma normal. Tal como hemos estado viendo, ciertas situaciones presentan varios equilibrios, de los que no siempre es posible decir cuál de ellos constituye la solución del juego. Sin embargo, cuando estos juegos se trasladan a su forma extensiva, sí es posible eliminar algunos de estos equilibrios. No se trata de modificar la naturaleza de un juego simultáneo para convertirlo en otro sucesivo. Simplemente hay juegos que por su naturaleza sucesiva no pueden representarse adecuadamente en forma normal, contra lo que mantenía von Neumann y Morgenstern en *Theory of Games and Economic Behavior*³⁹⁹. Selten propone el siguiente juego en forma extensiva:

³⁹⁹ La idea de que cualquier juego en forma extensiva se puede convertir a su forma normal sin pérdida de generalidad ya la presentaba von Neumann en “Zur Theorie der Gesellschaftsspiele” (1928).

Si se parte de la total ausencia de cualquier fuerza vinculante, no todo punto de equilibrio puede verse como una solución no cooperativa racional. Con la ayuda de un ejemplo sencillo se verá por qué esto es así.



Este juego de dos personas con información completa comienza en el punto o , en el cual el Jugador 1 tiene que decidirse por uno de los puntos x o z_3 ; si se decide por x , entonces el Jugador 2 tiene la elección entre los dos puntos finales z_1 y z_2 . En los puntos finales están indicados los pagos. Así, por ejemplo, en z_1 el Jugador 1 obtiene 3, mientras que el Jugador 2 recibe 1.

Cualquiera de los dos jugadores tiene una estrategia “izquierda” π_L que en el gráfico representa una decisión hacia la izquierda, esto es, hacia x o z_1 , y una estrategia “derecha” π_R , que se explica del mismo modo. El juego tiene dos puntos de equilibrio, a saber, la combinación de estrategias $\pi_L = (\pi_1L, \pi_2L)$ y $\pi_R = (\pi_1R, \pi_2R)$. Ambas combinaciones de estrategias tienen la propiedad del punto de equilibrio.

El punto de equilibrio π_R sólo se puede interpretar como que el Jugador 2 ya antes de comenzar el juego amenaza con decidirse por z_2 , para forzar con ello al Jugador 1 a escoger π_1R . Pero esta amenaza debe quedar sin efecto, si el Jugador 2 no puede vincularse por anticipado a ejecutarla. El Jugador 1 sabe que tan pronto como el curso del juego haya alcanzado el punto x , el Jugador 2 ya no puede tener interés en cumplir la amenaza. Este razonamiento muestra que, en ausencia de cualquier fuerza vinculante, π_R no puede considerarse una solución no cooperativa racional del juego. La posibilidad de estos casos no deseados nos obliga a refinar de un modo apropiado el concepto de equilibrio⁴⁰⁰.

Si representamos este juego en forma normal (tabla 18), apreciamos en efecto los dos equilibrios (subrayados) que describe Selten: en esos puntos, a ninguno de los dos jugadores le conviene cambiar de estrategias. Además, si los movimientos del juego fuesen simultáneos, la amenaza del Jugador 2 todavía podría ser creíble; pero si el Jugador 1 mueve primero, el Jugador 2 ya no puede cumplir racionalmente su amenaza. La representación normal, pues, no es suficiente para dar cuenta de la estructura del juego.

⁴⁰⁰ Selten, 1965, pp. 307 – 308.

Tabla 18

		Jugador 2	
		z1	z2
Jugador 1	X	3 ; 1	0 ; 0
	Z3	2 ; 2	<u>2 ; 2</u>

Este problema llevó a Selten a elaborar el concepto de equilibrio perfecto en subjuegos (*subgame perfect equilibrium*). Un subjuego es cualquier parte de un juego en forma extensiva que cumple las siguientes condiciones⁴⁰¹:

1. Tiene un único nodo inicial que es el único miembro del conjunto de información de ese nodo (*singleton information set*).
2. Contiene todos los nodos que suceden al nodo inicial.
3. Contiene todos los nodos que suceden a cualquier nodo contenido en él.
4. Si un nodo en un cierto conjunto de información se encuentra en el “subjuego”, entonces todos los miembros de ese conjunto de información pertenecen al “subjuego”.

Un subjuego contiene un nodo inicial y todos sus sucesores. Cada subjuego considerado aisladamente es en sí mismo un juego: cuando se llega al nodo inicial de un subjuego, los jugadores sólo tienen que concentrarse en dicho subjuego, y pueden ignorar la historia del resto del juego (supuesto que saben en qué subjuego se hallan).

Como vemos, el concepto de equilibrio perfecto en subjuegos descarta como soluciones posibles algunos equilibrios que serían fruto de decisiones irracionales en juegos extensivos.

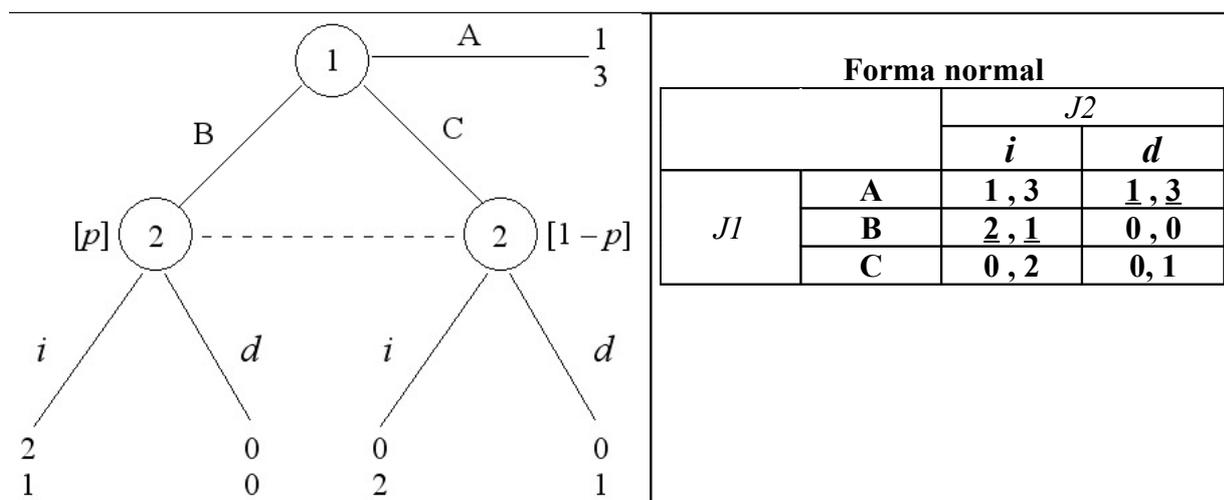
4.4.2.1.2 Equilibrio bayesiano perfecto

Primero voy a explicitar las situaciones para las cuales EBP aporta una solución que no se puede obtener con conceptos de equilibrio menos refinados. Posteriormente veremos si en algún punto de mi desarrollo se llega a una situación similar.

Hemos visto que el concepto de equilibrio perfecto en subjuego (EPS) ideado por Selten descarta como soluciones factibles algunos equilibrios que serían fruto de decisiones irracionales en juegos extensivos. Sin embargo hay juegos en los que el EPS todavía no es suficiente para eliminar los equilibrios irracionales y encontrar así un único equilibrio racional, como por ejemplo:

⁴⁰¹ Cfr. Selten, 1965, pp. 308 – 310

Figura 7



El jugador 1 (J1) tiene que elegir primero entre tres acciones: A, B o C. Si J1 elige A entonces el juego concluye sin que J2 haga ningún movimiento. Si J1 elige B o C entonces J2 sabe que A no fue escogida (pero no sabe si J1 ha hecho B o C): en esa incertidumbre tendrá que escoger entre *i* o *d*, y con eso terminará el juego. La línea discontinua que conecta los dos nodos de decisión de J2 indica que si J2 llega a estar en condiciones de elegir, no sabe si ha alcanzado ese punto del juego porque J1 ha movido A o porque J1 ha movido B. J2 asigna las probabilidades p y $1 - p$ a cada una de las dos posibilidades (veremos enseguida que estas probabilidades no juegan ningún papel en este ejemplo, pero serán relevantes en otros casos de los que nos ocuparemos más adelante).

Representado en su forma normal este juego tiene dos equilibrios (subrayados en la matriz), uno de los cuales es (A, d) . Ahora tenemos que preguntarnos si estos equilibrios de Nash son EPS. Sabemos que un EPS ha de ser un equilibrio de Nash en cada *subjuego*, y si recordamos la primera condición que definía este concepto, ésta era que cada subjuego debe tener un nodo inicial que sea el único miembro del conjunto de información (*singleton*). Por lo tanto no hay subjugos en el árbol de la figura 7. Y si un juego no tiene subjugos, entonces el requerimiento de la perfección en subjugos (que las estrategias de los jugadores sean equilibrios de Nash en cada subjuego) queda trivialmente satisfecho. Así, en cualquier juego que no tiene subjugos la definición de EPS equivale a la de equilibrio de Nash, de manera que en este juego sigue habiendo dos: (A, d) y (B, i) . Sin embargo (A, d) depende claramente de una amenaza no creíble: si J2 llegara al conjunto de información, aunque no sepa si ha llegado allí desde B o desde C, lo cierto es que en cualquier caso le conviene elegir *i* (puesto que $1 > 0$ y $2 > 1$). La

estrategia d está dominada en este conjunto de información. Por lo tanto J1 no debería mover A por temor a que J2 amenace mover d . J1 puede tranquilamente obtener 2 en lugar de 1, escogiendo B o C en lugar de A. El equilibrio (A, d) no es viable porque especifica una acción (d) que está dominada en su conjunto de información.

Al haber conjuntos de información con más de un nodo, éstos no pueden ser el punto de inicio de un subjuego, y por ello el EPS no garantiza la eliminación de equilibrios irracionales. Se trata de juegos de información *imperfecta*: al menos uno de los jugadores no conoce la totalidad de movimientos que el otro ha hecho anteriormente.

Para poder manejar este tipo de situaciones es preciso recurrir al EBP. La novedad crucial del EBP se debe a Kreps y Wilson, al incluir en el concepto de *estrategia* no sólo los cursos de acción disponibles para el jugador, sino también sus *creencias*:

An equilibrium is not simply a strategy, but consists instead of two types of probability assessments by the players: the *beliefs* of a player concerning where in the game tree he is whenever it is his turn to choose an action, and his conjecture concerning what will happen in the future as given by the strategy. The novel aspect is the specification of beliefs on information sets that lie off the equilibrium path (that is, that have prior probability zero in the equilibrium). [...] This encompasses the formulation of games with incomplete information due to Harsanyi: a sequential equilibrium provides at each juncture an equilibrium in the subgame (of incomplete information) induced by restarting the game at that point.

Our definition of a sequential equilibrium recasts and slightly weakens Selten's definition of a *perfect equilibrium*. Selten's definition [...] eliminates from consideration strategies that are otherwise weakly dominated. In a sequential equilibrium [...] this [...] is dropped. Thus every perfect equilibrium is sequential, but not conversely.⁴⁰²

Kreps y Wilson formalizan esta perspectiva definiendo el concepto de *equilibrio secuencial*, equivalente al EBP en muchas aplicaciones económicas, aunque en algunos casos es algo más restrictivo. El equilibrio secuencial es más complicado de definir y aplicar, por lo cual la mayoría de los autores se valen del EBP. Kreps y Wilson muestran que cualquier juego finito (con o sin información privada) tiene un equilibrio secuencial, de forma que lo mismo puede decirse para el EBP.⁴⁰³

Resumiré ahora la definición de EBP y sus condiciones, y a continuación veremos un caso concreto para ilustrar su aplicación. Un equilibrio bayesiano perfecto consiste en un conjunto de *estrategias* y *creencias* para cada jugador, caracterizado del siguiente modo⁴⁰⁴:

⁴⁰² Kreps y Wilson, 1982a, pp. 863 – 864

⁴⁰³ Cfr. Gibbons, 1997, p. 142. La restricción adicional aparece en la cita de Kreps y Wilson: a diferencia del EBP, el equilibrio secuencial especifica las creencias en conjuntos de información que quedan fuera de la ruta de equilibrio.

⁴⁰⁴ Esta exposición está tomada de Sánchez-Cuenca (2004, pp. 108 – 109). El desarrollo y la demostración matemática se encuentran en Kreps y Wilson, (1982a, pp. 876 y ss.)

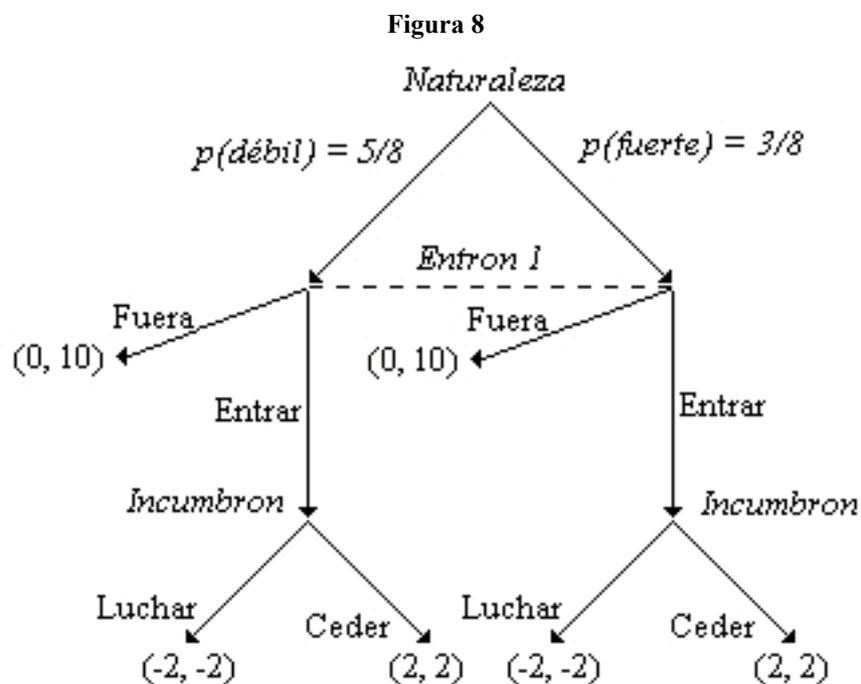
- 1) El jugador tiene creencias acerca de su posición en el juego [...]. Si el jugador se encuentra en un *singleton*, el jugador sabe con exactitud en qué punto del juego se encuentra cuando le toca mover: su creencia de estar en un punto concreto cuando le toca mover tiene probabilidad 1, hay certidumbre. Pero si el conjunto de información cubre más de un nodo, entonces la creencia es una distribución de probabilidad sobre los nodos del conjunto de información. Cuando al jugador le toque jugar en un conjunto de información determinado, asignará una probabilidad a cada nodo (cada probabilidad es una creencia de estar en uno de los nodos) de forma que la suma de todas ellas dé 1.
- 2) Las estrategias han de cumplir una condición de máxima importancia, llamada *racionalidad secuencial*. Decimos que las estrategias son secuencialmente racionales si cada acción del jugador es óptima dadas las creencias del jugador y las estrategias de los otros jugadores.
- 3) Si las creencias están en la ruta de equilibrio⁴⁰⁵, se determinan en función de las estrategias de equilibrio y de la regla de Bayes.
- 4) Si las creencias están fuera de la ruta de equilibrio, en principio quedan indeterminadas, pero, si es posible, se aplica la regla de Bayes.

Vayamos por fin al juego que nos servirá para ilustrar el tipo de casos en los que sólo el EBP permite encontrar una solución racional para un juego dinámico. Se trata del juego Disuasión de la entrada (*Entry Deterrence Game*), al que me referiré como DE.

Tenemos un monopolista que domina el mercado, al que llamaremos *Incumbron*. Otra empresa, *Entron*, se plantea entrar en el mercado: sus opciones son *entrar* o quedarse *fuera*. Si *entra*, el monopolista puede responder emprendiendo una guerra de precios (*luchar*) o *ceder* y aceptar sin más la presencia del nuevo competidor. Si *cede*, al perder el monopolio sus beneficios se reducirán. Si opta por *luchar*, pueden ocurrir dos cosas, dependiendo del *tipo* que sea el monopolista. Puede ser *fuerte* o *débil*. En el primer caso puede permitirse emprender la guerra de precios, que le supondrá un coste, pero de la cual *Entron* saldrá mucho peor parada. Pero si es débil, la guerra de precios tendrá unos costes que superan el beneficio (reducido, pero beneficio al cabo) que obtendría *cediendo*. El monopolista *sabe* en qué situación se encuentra, es decir, si es fuerte o débil. Pero *Entron no lo sabe*: sólo estima que la probabilidad de que *Incumbron* sea fuerte es $p(f) = 3/8$, y la probabilidad de que sea débil es $p(d) = 5/8$. Además, es

⁴⁰⁵ Siguiendo a Sánchez-Cuenca (2004, p. 109) se entiende por ruta de equilibrio (*equilibrium path*) “el tramo del juego que se recorre cuando los jugadores juegan sus estrategias en equilibrio. [...] El equilibrio es algo más amplio que la ruta de equilibrio, pues el equilibrio incluye tanto la ruta de equilibrio como las respuestas óptimas que elegirían los jugadores si estuvieran fuera de la ruta de equilibrio”.

CK que *Incumbron* conoce su propio tipo y el de *Entron*, pero que éste sólo asigna ciertas probabilidades a que determinado tipo de monopolista sea el caso o no. Todo esto se ve más claramente en la siguiente representación. Al final de cada rama se indican los pagos entre paréntesis: la primera cifra para *Entron*, y la segunda para *Incumbron*.



El primer movimiento lo hace la “Naturaleza”, en el sentido de que decide qué tipo de jugador es *Incumbron* (fuerte o débil)⁴⁰⁶. El conjunto de información, marcado en línea discontinua, contiene por tanto dos nodos: se indica con ello que *Entron no sabe* qué tipo de jugador *Incumbron*. Aún así, asigna ciertas probabilidades a que *Incumbron* sea fuerte o débil, de manera que puede calcular la utilidad esperada que le proporcionaría entrar o no en el mercado. Si no entra (*fuera*) entonces se queda como estaba (= 0). Ahora bien, si *Entron supiese* que *Incumbron* es débil, le convendría entrar, pues *Incumbron* escogería *ceder*, con lo cual obtendrían 2 cada uno. Pero si *supiese* que *Incumbron* es fuerte, no entraría, porque *Incumbron* optaría por *luchar*, lo cual le produciría a *Entron* una pérdida (-2), de manera que le iría mejor quedándose fuera (= 0). Así, la utilidad esperada de quedarse *fuera* es siempre 0, y la de *entrar* es $2 \cdot 5/8 - 2 \cdot 3/8 = 1/2$. Por lo tanto, dada esta distribución de probabilidades sobre los posibles tipos de *Incumbron*, la opción racional de *Entron* será entrar. Por su parte *Incumbron*, que sí conoce su propio tipo, simplemente luchará si es fuerte, y cederá si es débil.

⁴⁰⁶ Esta idea de la naturaleza como un jugador que toma ciertas decisiones que no están bajo el control de los auténticos jugadores es original de Harsanyi, quien en su análisis de juegos con información incompleta lo entiende como un movimiento aleatorio (*chance move*). Cfr. Harsanyi (1967 – 68) y Binmore (1990, cap. 3).

Las cosas se complican si esta situación se vuelve a repetir. Sin embargo, en principio parece que se simplificarían, pues a la vista de lo que ha escogido *Incumbtron* en la primera interacción, ahora *Entron 2* sí sabe qué tipo de jugador es *Incumbtron*⁴⁰⁷. Sin embargo, esta conclusión no es correcta, si consideramos el siguiente razonamiento (R1):

- a) Si *Incumbtron* es fuerte, entonces luchará.
- b) Ahora debemos preguntarnos: si *Incumbtron* es débil, ¿luchará? Ya hemos visto que la respuesta a esta pregunta es *no*.
- c) A la vista de (b), si *Entron 2* ve que *Incumbtron* ha luchado en el primer encuentro, deducirá que *Incumbtron* es fuerte.
- d) Y si *Entron 2* piensa que *Incumbtron* es fuerte, entonces *no entrará* en el segundo período.
- e) Considerando (c) y (d) un *Incumbtron* débil sí luchará en el primer período, porque así obtendrá $-2 + 10$, en lugar de $2 + 2$. Tenemos pues, que la respuesta que habíamos dado a la pregunta (b) es incorrecta.

Así, resulta que tanto si es fuerte como si es débil, *Incumbtron* luchará. La idea es que a *Incumbtron*, sea fuerte o débil, siempre le conviene que *Entron 2* piense que él (*Incumbtron*) es fuerte.

Ahora bien, *Entron 2* está al tanto de R1, y por lo tanto sabe que no puede actualizar sus creencias a la vista de lo que haga *Incumbtron*, pues éste hará siempre lo mismo, independientemente de si es fuerte o débil. Por tanto *Entron 2* conserva las mismas creencias que *Entron 1*: $p(\text{fuerte}) = 3/8$ y $p(\text{débil}) = 5/8$. Sin embargo, dada esta distribución de probabilidades, habíamos visto que *Entron* maximiza su utilidad esperada *entrando*. Y esto es precisamente lo que no quiere *Incumbtron*. El problema es que *Incumbtron 1* no tiene forma de hacer que *Entron 2* cambie su creencia, y ambos lo saben. Pero sí existe un modo en que *Incumbtron* puede hacer que *Entron 2* actualice su creencia, mediante el uso de una estrategia mixta. Para que funcione, *Entron 2* debe haber seguido todo el razonamiento que hemos desarrollado hasta aquí, y saber que *Incumbtron* empleará una estrategia mixta. Tiene que ser una estrategia mixta tal que, al actualizar la probabilidad condicionada, a *Entron 2* le resulte indiferente entrar o quedarse fuera. La creencia que *Entron 2* debe tener para que le resulte indiferente hacer una cosa u otra, tiene que ser $p'(\text{fuerte}) = 1/2$, ya que la utilidad esperada de entrar sería ahora $2 \cdot 1/2 - 2 \cdot 1/2 = 0$ (es decir, idéntica a la utilidad que le reporta quedarse fuera).

⁴⁰⁷ *Entron 2* es el mismo jugador que en la interacción previa. Ahora lo llamamos *Entron 2* simplemente para indicar que se encuentra en una segunda etapa del juego.

Por lo tanto, aplicando la regla de Bayes, ya sea *Incumbron fuerte o débil* (y él conoce su propio tipo) tendrá que *ceder* con una probabilidad $q(\text{ceder})$ y *luchar* con una probabilidad $(1 - q)(\text{luchar})$ tal que:

$$p' = \frac{p}{p + (1 - p)q} = 1/2$$

Despejando la ecuación, obtenemos que el valor de q es $3/5$.

Vemos cómo este procedimiento permite encontrar cuál es el curso óptimo de acción para todos los jugadores, en cualquier etapa de un juego dinámico, partiendo de una información incompleta que se puede ir actualizando mediante el cálculo bayesiano de probabilidades condicionadas. Así queda de manifiesto la originalidad de esta noción de equilibrio ampliada que proponen Wilson y Kreps, la cual comprende no sólo un conjunto de estrategias, sino también un conjunto de creencias, para cada jugador y en cada etapa del juego. Hemos visto también que la aplicación de una estrategia mixta no responde sólo al propósito clásico de dejar indiferente al otro jugador entre sus posibles cursos de acción, sino que esto se logra, precisamente, obligando al otro jugador a modificar sus creencias.

Ahora es el momento de preguntarnos si el juego de Partir la tarta VJ puede encontrar su solución en la noción de EBP. Para ello comenzaremos por buscar sus semejanzas y diferencias respecto de los casos que acabamos de analizar. Con este fin, a su vez, primero habrá que definir con precisión cuáles son las características Partir la tarta VJ y bajo qué supuestos lo consideraremos.

4.4.2.2 Condiciones que definen el juego Partir la tarta a varias jugadas (VJ)

4.4.2.2.1 Estrategias y pagos del juego

Nos centraremos en la versión simplificada del juego, tal como quedó representado en la Tabla 14⁴⁰⁸, es decir, cada jugador dispone de tres estrategias. La llamo versión simplificada porque lo que realmente juegan los agentes artificiales en las simulaciones es un juego continuo donde cabe escoger todas las estrategias que van desde pedir toda la tarta hasta no pedir nada. Aunque no necesitaremos *analizar* este caso mucho más complejo, en 4.4.2.4 me referiré brevemente a él⁴⁰⁹.

⁴⁰⁸ *Supra* 4.4.1

⁴⁰⁹ Es decir, no lo trataremos analíticamente, pero sí experimentalmente mediante simulaciones (*infra* 4.4.3).

Además de las tres estrategias discretas, los pagos quedan definidos de la misma manera: si la suma de lo que ambos jugadores exigen no supera la totalidad de la tarta, cada uno recibe lo que ha pedido; de lo contrario, no reciben nada. Asimismo la utilidad que reporta cada resultado a ambos jugadores coincide exactamente con la porción de tarta obtenida, es decir, $u(x) = x$. Más adelante veremos en qué medida cabrá revisar esta condición, pero ahora debe quedar claro que ésta es la única función de utilidad que consideramos.

4.4.2.2 Conocimiento común

Es conocimiento común que esta única función de utilidad es la que define las preferencias de ambos jugadores (CK1), y también son conocimiento común lo que siguiendo a Harsanyi llamábamos postulados débiles de la racionalidad (CK2), esto es, que los dos jugadores son maximizadores de la utilidad esperada.

4.4.2.3 Iteraciones

Cada jugador toma sus decisiones simultáneamente, pero el juego se repite en sucesivas etapas (*stages*), de modo que habrá que considerarlo en su forma extensiva. El número de repeticiones es exactamente 10, pero los jugadores *no conocen* este hecho: en cada etapa sólo saben que es *posible* que se dé una próxima interacción. Pronto veremos el papel que juega la *probabilidad* de que haya otra jugada más. Se trata, pues, de un juego cuya duración es indeterminada, lo cual excluye soluciones basadas en argumentos recursivos como el que habíamos indicado en el caso del DP⁴¹⁰, aplicado también por Selten para el juego iterado de la DE con información *completa*⁴¹¹.

4.4.2.4 Información completa pero imperfecta

Estamos por tanto en condiciones de señalar una primera diferencia respecto del juego DE, que a la vez nos permitirá percibir una semejanza entre ellos. En Partir la tarta VJ la información es *completa*, en el sentido de que no hay diferentes tipos de jugadores: hay un solo tipo, y ambos lo saben (CK1). Sin embargo, es un juego de información *imperfecta*. Es cierto que los jugadores tienen acceso completo al historial de las interacciones previas, pero cada etapa consta en sí misma de dos acciones *simultáneas*. Esta simultaneidad crea nodos de información que no son únicos (*nonsingleton*). La idea es que un juego simultáneo con varios equilibrios de Nash es equivalente a un juego sucesivo en el cual el jugador que mueve en segundo lugar *no sabe* lo que

⁴¹⁰ Cfr. *supra* 3.5

⁴¹¹ Cfr. Selten, 1978. Esto lo diferencia del juego DE que hemos estudiado en 4.4.2.1.2, pues en éste la información era *incompleta*.

ha hecho el jugador que ha movido primero. Pensemos primero un ejemplo que *no* se ajusta a esta descripción: si J1 y J2 juegan al DP, y J1 mueve primero, aunque J2 tenga que mover *después* sin saber lo que ha hecho J1, deducirá de todos modos que J1 ha escogido su estrategia dominante (defraudar). Y consideremos ahora un caso con dos equilibrios: el juego del Gallina, pero jugado de manera sucesiva. En principio J1 tiene una ventaja, pues al mover primero escogerá “seguir adelante”, sabiendo que J2 tendrá conocimiento inmediato de esta decisión, y por lo tanto “se desviará”. Pero si J1 mueve primero, y J2 *no sabe* lo que J1 ha hecho, aun siendo los movimientos sucesivos, la información es *imperfecta*, y la estructura estratégica que presenta es la misma que si fuese simultáneo. Ahora a la inversa, y de acuerdo con estos razonamientos, el juego Partir la tarta *simultáneo* es como si fuese sucesivo, pero con información imperfecta. Y tal es la situación que se repite en cada etapa de Partir la tarta VJ.

4.4.2.2.5 Formación de reputaciones

Disiparé ahora una confusión que puede presentarse al hablar de *reputaciones* cuando nos referimos a DE y a Partir la tarta VJ. En principio ambos juegos tienen en común el que cada jugador puede observar los movimientos previos del otro y recordarlos⁴¹². Sin embargo, en Partir la tarta VJ no cabe interpretar que esta repetición y observación de movimientos genere reputaciones en el mismo sentido que en DE. Porque en DE la formación de reputaciones hace referencia a las creencias que un jugador va actualizando acerca del *tipo* del otro jugador. Pero en Partir la tarta VJ las funciones de utilidad, los *tipos* de los dos jugadores, ya son CK1, por lo cual *ex hypothesi* no hay necesidad de actualizar creencias ni de demostrar nada al otro jugador sobre este punto. Sin embargo, no podemos subestimar la condición *iterativa* de Partir la tarta VJ.

En Partir la tarta *UJ* había múltiples equilibrios de Nash (tres en la versión simplificada). En los dos siguientes epígrafes argumentaré que en Partir la tarta VJ hay un solo equilibrio, independiente tanto de las creencias iniciales de los jugadores como de la probabilidad p de que haya una futura interacción (el valor de esta probabilidad será CK4). El aspecto que realmente marca la diferencia es que aquí estamos ante un juego que se repite *indefinidamente*. Ese equilibrio único es precisamente “pedir 1/2”. El tipo de razonamiento que nos conducirá a este resultado es el que estábamos naturalmente inclinados a emplear cuando examinábamos RCK. Si antes no aceptábamos RCK y ahora sí, es justamente porque estamos en VJ.

⁴¹² En DE, el único movimiento que *Entron* no observa es el movimiento inicial efectuado por la naturaleza, pero sí tiene conocimiento de los movimientos de *Incumben*.

4.4.2.2.6 Creencias iniciales

Al analizar el juego de Partir la tarta UJ me había comprometido con la afirmación de que aun suponiendo CK1 y CK2 todos los equilibrios son posibles. Ésta sería la situación inicial, antes de la primera jugada: es posible cualquier par de creencias acerca de lo que hará el otro. Aunque sean creencias equivocadas, son en cualquier caso coherentes⁴¹³.

De estas creencias iniciales de los dos jugadores podrían resultar en la primera jugada tres tipos de combinaciones de movimientos:

- 1) Demandas compatibles y eficientes, es decir, que sumadas representan la totalidad de la tarta. Cada jugador recibe entonces lo que ha pedido. Obsérvese que en esta categoría entran también los resultados asimétricos: por ejemplo, que un jugador pida $1/3$, y que el otro pida $2/3$.
- 2) Demandas compatibles pero ineficientes. Los jugadores obtienen lo que han pedido, pero podrían todavía haber conseguido algo más. Por ejemplo, si los dos jugadores piden $1/3$.
- 3) Demandas incompatibles, esto es, aquellas que sumadas superan la totalidad de la tarta, de manera que ninguno recibe nada. Por ejemplo, si ambos jugadores piden $2/3$.

Ahora bien, a diferencia del juego UJ, en el juego VJ las creencias iniciales se pueden ver confirmadas o desmentidas por las decisiones que toman los jugadores. Por ejemplo, un caso de confirmación sería el siguiente: si $J1-J2 = 2/3$ y en efecto $J2 = 2/3$, entonces no hay motivo para que J1 deje de creer que $J2 = 2/3$ en la próxima jugada.

Ensayemos un par de conclusiones provisionales:

- a) todos los resultados posibles incluidos en la categoría (1) confirmarían mutuamente las creencias previas de ambos jugadores, de manera que dichos resultados volverían a repetirse indefinidamente en el futuro.
- b) los resultados de las categorías (2) y (3) conducirán a equilibrios en los que se alternarán resultados del tipo (2) y del tipo (3). Por ejemplo, si $J1 = 1/3$ y $J2 = 1/3$, entonces en la siguiente jugada $J1-J2 = 1/3$ y $J2-J1 = 1/3$, y como resultado de esas creencias, ocurrirá que $J1 = 2/3$ y $J2 = 2/3$. Lo cual generará en la siguiente etapa un nuevo par de creencias, $J1-J2=2/3$ y $J2-J1=2/3$, y un nuevo par de acciones: $J1 = 1/3$ y $J2 = 1/3$.

⁴¹³ Cfr. *supra* 4.1

Comencemos por (b), que es a todas luces falsa. Ambos jugadores se percatarían de que así sólo están obteniendo un $1/6$ por jugada. Ante la perspectiva de repetir indefinidamente las interacciones, cualquiera de los dos comprenderá que es más racional reducir sus aspiraciones o incluso ceder totalmente a las pretensiones del otro. Más adelante esto nos llevará al principio de concesión Zeuthen-Harsanyi. Pero ahora pasemos a la conclusión (a).

Los equilibrios no equitativos, que sí eran racionalmente posibles en UJ —insisto que *incluso* partiendo de CK1 y CK2—, ¿son igualmente racionales en VJ? No necesariamente, por el siguiente motivo. En UJ, si $J1-J2 = 2/3$, por poco que le guste este caso —que puede ser falso, pero J1 así lo cree— resultará de todos modos que $J1 = 1/3$, simplemente porque J1 es un maximizador de la utilidad esperada, y $1/3$ es mejor que nada. Ahora bien, si J1 piensa que habrá más interacciones, entonces podrá ser que $J1-J2 = 2/3$ y sin embargo $J1 > 1/3$. Pues así, aunque no obtenga nada en esta interacción, advierte a J2 que en el futuro no está dispuesto a conformarse con $1/3$. En cambio en UJ no hay ningún futuro en el que demostrar nada. Ésta es la diferencia fundamental, que termina de definir las particularidades de Partir la tarta VJ. Como anticipé en el epígrafe anterior, ambos jugadores conocen la probabilidad p de que haya una próxima jugada, y los dos saben que lo saben (CK4).

4.4.2.3 La sombra del futuro en Partir la tarta

Supongamos que $J1-J2 = 2/3$. Si p es suficientemente alta, quizá le compense pedir más de $1/3$, porque aunque no espere obtener nada en la primera jugada (recordemos que *cree* que $J2 = 2/3$) puede esperar conseguir mejores resultados en el futuro si hace ver a J2 que no está dispuesto a conformarse con $1/3$. Por el momento no nos interesa lo que crea J2 y lo que esté *realmente* dispuesto a hacer. El razonamiento que apliquemos a un jugador será igualmente válido para el otro. Y puedo anticipar que será así aunque sus creencias iniciales sean diferentes.

Para seguir el argumento que propongo a continuación incorporaremos la noción de “sombra del futuro”. Tal es el nombre que da Axelrod al parámetro de actualización W que permite calcular la utilidad esperada de una serie de resultados repetidos en el futuro con

probabilidad p , tal que $W = \frac{1}{1-p}$. Veamos cuál es el sentido de esta fórmula, según lo explica

Axelrod⁴¹⁴:

⁴¹⁴ Axelrod utiliza este parámetro de actualización en su análisis del DP iterado, pero es igualmente aplicable a cualquier otro juego que se repita indefinidamente. En 4.7 veremos que Skyrms lo emplea para demostrar que un DP iterado equivale al juego Caza del venado a una sola jugada.

Este parámetro puede utilizarse para determinar el pago que corresponde a toda una serie de jugadas. A fin de dar un ejemplo sencillo, supongamos que la importancia de cada jugada es sólo la mitad de la precedente, lo que da $[p] = 1/2$. En tal caso, una serie entera de defecciones mutuas, cuyo valor es de un punto cada una⁴¹⁵, tendría un valor de 1 en la primera jugada, de 1/2 en la segunda, de 1/4 en la tercera, y así sucesivamente. El valor acumulado de la serie completa sería $1 + 1/2 + 1/4 + 1/8 \dots$ cuya suma sería, exactamente, 2. Resulta muy útil el hecho de que la suma de esta serie infinita, para p mayor que 0 y menor que 1, es $1 / (1 - p)$ ⁴¹⁶.

Pongamos por caso que $p = 0,5$. Y por tanto $W = 2$.

J1-J2 = 2/3, pero pese a todo J1 se plantea si no le compensará pedir más de 1/3. No conseguirá nada en la primera jugada pero puede que consiga más a largo plazo. Para ello tendrá que cumplirse que:

$$(x \cdot W) - x > 1/3 \cdot W$$

El sentido de la inecuación es el siguiente. Indicamos con x la nueva porción de tarta que exigirá J1. Si J2 aceptase ajustarse a ese equilibrio que propone J1, la utilidad esperada para J1 sería $x \cdot W$, restando x en la primera jugada, pues en ésta cuenta con que las demandas de ambos serán incompatibles (= 0).

Por otra parte, $1/3 \cdot W$ es la utilidad esperada en una serie indefinida de jugadas, supuesto que J1 se resigna al equilibrio en el que siempre obtiene 1/3. Entonces, dada la creencia inicial de J1 y conocido $p = 0,5$ ($W = 2$), resulta que J1 maximiza su utilidad esperada si:

$$x \cdot 2 - x > 2/3$$

Es decir, si $x > 2/3$. Por tanto, si $p = 0,5$ la demanda que tiene que hacer J1 para que los pagos esperados del futuro compensen la pérdida inicial de 1/3 tiene que ser mayor de 2/3. Cosa que J2 seguramente no aceptará; pero de eso nos ocuparemos un poco más adelante.

Sólo por aclarar el argumento con otro ejemplo, planteemos ahora la situación de manera algo diferente. ¿Qué valor tiene que tener p para que a J1 le sea suficiente con pedir 1/2 para que su utilidad esperada a largo plazo compense la pérdida inicial? Para eso debe cumplirse que $1/2 \cdot W - 1/2 > 1/3 \cdot W$. Omitiendo aquí las operaciones intermedias, el caso es que $p = 2/3$.

Pero volvamos al primer caso, donde $p = 0,5$ y por tanto $J1 = 2/3$ si no quiere resignarse — *dada su creencia inicial*— al equilibrio donde siempre obtiene 1/3.

⁴¹⁵ Obviamente Axelrod se refiere aquí al DP, con un pago $P = 1$.

⁴¹⁶ Axelrod, 1986, p. 24.

Entonces J1 pedirá $2/3$ ⁴¹⁷. Y como cree que J2 también pedirá $2/3$, concluye que en la primera jugada no obtendrá nada. Pero habrá mostrado a J2 que su intención era pedir $2/3$.

Para simplificar la exposición necesito ahora extender la notación que hemos venido utilizando hasta el momento. La presentaré nuevamente con algunos ejemplos.

$J1(1) = 2/3$ significa: J1 elige en la primera jugada (1) la opción “pedir $2/3$ ”.

$J1(1)-J2(2) = 1/3$ significa: J1 cree en la primera jugada⁴¹⁸ que J2 elegirá en la segunda jugada (2) la opción “pedir $1/3$ ”.

$J1(1)-J2(2)-J1(2) = 1/2$ significa: J1 cree en la primera jugada que J2 creará en la segunda jugada⁴¹⁹ que J1 elegirá en la segunda jugada “pedir $1/2$ ”.

Volviendo a nuestro razonamiento, podemos expresar aquella primera conclusión provisional como: $J1(1)-J2(1) = 2/3$.

Es decir, J1 anticipa que *hecha* la primera jugada (y antes de la segunda) J2 se encontrará con la misma expectativa que tenía J1 antes de la primera jugada, a saber, que el otro jugador pedirá $2/3$. Tendrá esta expectativa porque cualquier creencia inicial que tuviese J2 no tenía en principio un fundamento⁴²⁰. Ahora, en cambio, la acción *efectiva* de J1 proporciona una justificación para formarse una expectativa. Estos nuevos estadios del razonamiento se resumen como: $J1(1)-J2(2)-J1(2) = 2/3$.

Llegados a este punto es importante destacar tres cosas:

- 1) No he mencionado para nada lo que J2 cree ni lo que J2 vaya a hacer. Todo este razonamiento atañe exclusivamente a J1.
- 2) Esta cadena de suposiciones precede al primer movimiento. Todavía no ha habido ninguna acción en absoluto.
- 3) El razonamiento de J1 no incurre en la falacia de pensar que cuando haya transcurrido la primera jugada, la probabilidad p de que aún le siga otra habrá disminuido⁴²¹. Esto es importante para mantener la expectativa de que J2 razonará antes de la segunda jugada del mismo modo que lo está haciendo J1 antes de la primera.

⁴¹⁷ En realidad tiene que pedir cualquier cantidad que sea al menos infinitesimalmente superior a $2/3$. Si pidiese exactamente $2/3$, la utilidad esperada de este equilibrio sería idéntica a aceptar $1/3$ desde el principio.

⁴¹⁸ Es decir, *antes* de realizar el primer movimiento.

⁴¹⁹ Nuevamente esto significa *antes* de efectuar el segundo movimiento, pero habiendo hecho ya el primero.

⁴²⁰ Y en rigor tampoco un fundamento en contra.

⁴²¹ Esta es la conocida “falacia del jugador”.

Entonces, independientemente de si la creencia de J1 es correcta o no, lo cierto es que dada dicha creencia, y puesto que sabe que J2 es tan racional como él, deducirá que ambos encadenarán indefinidamente una serie de demandas de $2/3$, con lo cual ninguno obtiene nada⁴²².

Por lo tanto, no es cierto que tenga que pedir una cantidad mayor que $2/3$ para no entrar en el equilibrio del que sólo obtiene $1/3$. La demanda x tiene que ser menos de $2/3$. Si aplica todo el razonamiento a cantidades cada vez menores, encontrará que $1/2$ es el valor más alto que puede adoptar x sin iniciar una cadena de jugadas en las que las demandas son incompatibles (pago = 0). La única conclusión que permitirá a J1 tomar una decisión maximizadora es: $J1(1)-J2(2)-J1(2) = 1/2$.

Sin duda este razonamiento recuerda al procedimiento de concesión ZH, del que nos ocuparemos más adelante (4.4.2.5 y 4.3). Ahora quisiera prevenir la tentación de pensar que este mismo razonamiento es el que se aplica en la versión del juego a una sola jugada, eliminando así los equilibrios no equitativos en Partir la tarta UJ. No es así porque, por un lado, el argumento que presento aquí se funda en que son posibles todas las creencias iniciales acerca de lo que el otro jugador hará en la primera jugada. Por otro, la decisión resultante depende del valor de p . Y en UJ tenemos que $p = 0$, y por tanto $W = 1$, con lo cual no hay ningún valor de x que satisfaga la condición $x \cdot 1 - x > 2/3$.

Supongamos ahora un valor de p muy alto, por ejemplo $p = 0,95$ ($W = 20$).

Si $J1(1)-J2(1) = 2/3$, entonces $x \cdot 20 - x > 2/3$. Siendo la sombra del futuro tan larga, para que a J1 le compense desviarse del equilibrio que *cree* resultaría de $J2(1) = 2/3$, le basta con pedir cualquier valor de $x > 0,035$. Pero $1/3$ ya es mayor que $0,035$. ¿Por qué entonces no conformarse simplemente con $1/3$? Porque x tiene que ser mayor que $0,035$, lo cual no quita que pueda ser mayor que $1/3$. Obviamente, para cualquier valor de $x > 1/3$ la utilidad esperada será mayor que la de contentarse con $1/3$. ¿Y cuál es el mayor valor que puede tener x sin caer en las secuencias de demandas incompatibles descritas más arriba? El mismo razonamiento se repite ahora, pero de manera ascendente, hasta encontrar que ese valor máximo de x es nuevamente $1/2$.

Este último ejemplo nos permite sacar una conclusión interesante. En realidad no hay que buscar un valor de p que sea suficientemente alto. Si p es muy pequeño, x tendrá que ser enorme, pero J1 sabe que si pide x no obtiene nada en la próxima jugada nada, y además pone a J2 en la misma situación: $J2(2)-J1(2) = x$. Y si p es muy grande, aunque a J1 le baste un valor de x

⁴²² Si la expectativa de J1 era adecuada o no será algo que no se podrá verificar hasta que J2 haya hecho el primer movimiento, pero esto no afecta al argumento que expongo aquí.

reducido, intentará en cualquier caso maximizarlo. En definitiva, basta cualquier valor de $p > 0$ para que el equilibrio de este juego repetido indefinidamente tenga como equilibrio que ambos jugadores pidan siempre la mitad de la tarta⁴²³. Y lo que es más importante, independientemente de cuál sea la creencia inicial de un jugador acerca de lo que hará el otro en la primera jugada.

No está de más advertir que los individuos racionales reales no tienen por qué razonar así, y mucho menos los simples agentes artificiales de una simulación. Lo único que indico aquí es cuál es *el* equilibrio de este juego indefinido: ambos jugadores piden siempre 1/2.

4.4.2.4 Casos en los que sería necesario encontrar el equilibrio bayesiano perfecto

Con todo lo dicho hasta aquí, nuestro juego queda caracterizado por las estrategias y los pagos indicados en la tabla 14⁴²⁴, *un solo tipo* de jugador, cuya función de utilidad es de la forma $u(x) = x$, CK1 y CK2. Además, la repetición indefinida de jugadas nos permite identificar un único equilibrio (el equitativo), lo cual no era posible en UJ.

Por tanto no ha sido necesario recurrir a los refinamientos del EBP. Sin embargo, todavía podría haber motivos que nos obligasen a calcular un EBP. Antes de exponerlos, voy a anticipar que este tipo de razones, aunque naturales, representan un modo incorrecto de apreciar el sentido y propósito de estas simulaciones.

La circunstancia a la que me refiero es que al observar el comportamiento de los agentes artificiales, muchas de sus “acciones” son incompatibles con CK1, CK2 o alguna de las otras condiciones que hemos especificado. Ocurre que muchos jugadores —especialmente en las primeras generaciones— se desvían de ese equilibrio único que hemos identificado. Decimos en estos casos que sus comportamientos no se pueden explicar si no es porque:

- a) El agente es irracional (no CK2).
- b) El agente es racional, pero por algún motivo no puede estar seguro de que el otro también lo sea (no CK2).
- c) Ambos son racionales, y saben que lo son (CK2), pero al menos uno de ellos no conoce la función de utilidad del otro (no CK1).
- d) *Hay CK2 y también CK1*, pero la función de utilidad de al menos uno de los jugadores no es la que definíamos al principio $u(x) = x$. Es decir, los jugadores están jugando a *otro* juego, y no al que nos interesa aquí.

⁴²³ Si $p = 1$ entonces sería un juego repetido eternamente, y $W = \infty$.

⁴²⁴ *Supra* 4.4.1

Las explicaciones (a) y (b) son las más cómodas, pero las menos acordes con el objeto de estudio de la teoría de la elección *racional*. Más interesantes son las explicaciones (c) y (d). En particular (c) nos pondría, ahora sí, antes un juego de información *incompleta*, que requiere el EBP para encontrar *el* equilibrio racional.

Aunque enormemente complicado, es teóricamente posible encontrar el EBP de cualquiera de estos juegos en el que se encontrarían un par de agentes artificiales. En el ejemplo de DE (4.4.2.1.2) teníamos un juego donde la información incompleta era asimétrica (*Incumbron* si conoce el tipo de *Entron*), pero en Kreps y Wilson también encontramos métodos para resolver situaciones en las que ningún jugador sabe exactamente de qué tipo es el otro⁴²⁵. Además, aunque hasta aquí hayamos considerado sólo el juego simplificado (con tres estrategias) tampoco es un impedimento aplicar estos refinamientos a la situación en la que realmente interactúan los agentes artificiales, esto es, un juego con infinitud de estrategias continuas. Existen también análisis para tratar estos casos⁴²⁶. Por último, Kreps y Wilson hacen notar que aunque su modelo está muy simplificado en cuanto al número de posibles tipos de jugador (sólo 2) es posible extender el análisis a un *continuo* de tipos⁴²⁷ (lo cual sería ciertamente indicado para el caso que planteo aquí, donde cada agente podría tener delante *cualquier* tipo de jugador).

Así, aunque los desarrollos matemáticos de estos métodos son considerablemente complicados, las soluciones existen. El motivo por el cual aquí prescindiré de ellos no responde a su excesiva complejidad ni a su escaso realismo. Ya hemos insistido en capítulos anteriores en que ni los modelos ni las teorías tienen por qué ser realistas (no pueden serlo). Sin ir más lejos, todas las simulaciones suponen un considerable grado de abstracción. No se trata de que la sofisticación de estos procedimientos quede fuera del alcance de agentes racionales *reales* (y no digamos ya de entidades como animales o simples algoritmos en un programa). Muy por el contrario, el planteamiento que guía esta investigación consiste en hallar la solución *racional* para una determinada situación, y comprobar luego si agentes artificiales sencillos —y *a fortiori* agentes reales mucho más complejos— pueden llegar evolutivamente a esos resultados⁴²⁸.

⁴²⁵ Cfr. Kreps y Wilson, 1982b, pp. 266 y ss. Los propios autores señalan que “giving a complete specification of the equilibrium that is obtained is extraordinarily tedious, because it is based on some very involved recursions. Still, we can give a rough description of what happens” (p. 267). Es decir, existe una solución, y se puede obtener.

⁴²⁶ Véase al respecto Milgrom y Roberts (1982a) y Crawford y Sobel (1982).

⁴²⁷ Cfr. Milgrom y Roberts, 1982b.

⁴²⁸ Esto fue lo que hicimos con el análisis del juego Gallina (4.2). No se trataba de discutir si los seres humanos empleamos alguna vez estrategias mixtas para tomar decisiones en este tipo de situaciones. La estrategia mixta como solución racional (equilibrio de Nash) se toma por un lado, y el curso evolutivo de la simulación, por otro. La cuestión *a posteriori* era si ambos coincidían (y pudimos ver que en efecto así fue).

Pero hay algo que sí queda fuera de este planteamiento, o mejor dicho, supone su completa inversión. El recurso a refinamientos del equilibrio de Nash venía en principio forzado por la necesidad de racionalizar ciertos comportamientos de los jugadores artificiales. Para intentar explicar ciertas decisiones, teníamos que negar CK2 o CK1 (ésta última, decíamos, era la posibilidad “incómoda” pero interesante). Ahora bien, como *interpretación* es perfectamente legítimo concluir que un determinado par de jugadores, a la vista de lo que hacen, se encuentran inmersos en un complejo juego iterado de información incompleta e imperfecta. ¿Qué necesidad hay de encontrar la solución de *ese* supuesto juego? Ninguna. Sobre todo porque no es posible calcularla. Y repito que la imposibilidad no se debe a lo arduo que resulta calcular el EBP, sino simplemente a que no disponemos de los datos necesarios para ello. No sabemos qué tipos posibles estarían considerando los jugadores, ni qué probabilidades asignarían a cada uno. Lo que sí sería factible es precisamente el proceso inverso: suponemos la perfecta racionalidad de los jugadores, observamos sus movimientos a lo largo de varias jugadas, y quizá eso nos permitiría deducir —al menos dentro de cierto rango— cuáles son sus funciones de utilidad, cuáles creen que son las posibles preferencias del otro, con qué probabilidad lo creen, etc. Si pudiésemos concluir exitosamente este razonamiento inverso, ya no necesitaríamos calcular el EBP (o cualquier otro tipo de equilibrio), sino que la solución estaría reflejada precisamente en lo que han hecho los jugadores. En un ejercicio de enorme paciencia podríamos realizar esta deducción para cada par de los miles de enfrentamientos que tienen lugar en una generación.

Pero como ya he anticipado, este planteamiento está totalmente fuera de lugar. No se trata de calcular el equilibrio de incontables situaciones (la mayoría de las cuales probablemente ni siquiera serían formalmente el juego de Partir la tarta VJ). ¿Qué equilibrio hay que calcular entonces? *El equilibrio de un solo juego*, el que fue formalmente definido a lo largo de los epígrafes previos: Partir la tarta VJ en su versión más simple, con una única función de utilidad que coincide con los trozos de tarta obtenidos, $u(x) = x$, con información completa (CK1) y CK2. Y dadas estas condiciones, habíamos encontrado su punto de equilibrio⁴²⁹.

Quisiera terminar de aclarar la idea de este epígrafe con un ejemplo muy simple. Supongamos que vemos a dos individuos envueltos en un DP donde los pagos son cantidades de dinero. Observamos sus conductas y vemos que ambos han cooperado. Entonces nos preguntamos cómo ha sido posible ese resultado, sin salirnos de la teoría de juegos en su forma más clásica (es decir, sin apelar a jugadores transparentes, ni disposiciones morales, ni errores de percepción, etc.). Una conclusión sería que no sabemos cuáles eran realmente sus funciones de utilidad, pero desde luego no eran idénticas a las cantidades de dinero; o puede que quizá no hubiese CK1. Dicho de otro modo, si se trata de *racionalizar*, podemos deducir que la opción

⁴²⁹ Cfr. *supra* 4.4.2.3

“cooperar” —y aquí “cooperar” deviene un mero rótulo— era para cada uno su estrategia dominante. Podemos conjeturar muchas más eventualidades: acaso sus preferencias sobre las sumas de dinero definían un juego como el Gallina, y la opción que ambos escogieron resultó en ambos casos de una estrategia mixta. Dado este nuevo juego —supuesto que lo podemos identificar—, calcúlese ahora cuál es su equilibrio. Ya está calculado: es lo que han hecho los jugadores⁴³⁰.

4.4.2.5 Racionalizaciones según el principio de concesión Zeuthen-Harsanyi

Puestas las cosas así, surge una pregunta muy natural, relativa al objetivo que se persigue con estos modelos. ¿Qué sentido tiene entonces definir *un* juego, si los agentes que lo protagonizan pueden tener preferencias muy diferentes de las definidas para *ese* juego, o incluso es posible que no se estén comportando en absoluto de manera racional? La respuesta a esta pregunta tengo que postergarla hasta el epígrafe 4.4.4.

Conocido analíticamente este resultado en el marco más abstracto e ideal de la teoría de juegos, ahora sí se puede “mirar dentro” de los algoritmos y ver si al cabo de un tiempo —cuando y *si* la población se estabiliza en el equilibrio racional—, están aplicando algo parecido a un cálculo de equilibrios. Puedo adelantar que incluso si éste es el caso, el concepto de equilibrio que las estrategias estables llevarán “incorporado” no será muy refinado. En particular, no será el EBP, pues no está programada la posibilidad de que actualicen sus creencias según la regla de Bayes⁴³¹. Y tengo que insistir en lo siguiente: que los agentes de *Bichos* no puedan calcular un EBP es una cuestión que no afecta en absoluto a que un determinado juego sí requiriese este tipo de equilibrio (lo cual no es el caso en Partir la tarta VJ).

Por otra parte, incluso este tipo de actualización más básico no opera sobre nada parecido a una *creencia*, sino que se trata siempre de meros mecanismos que reaccionan a respuestas. No obstante, veremos a continuación que estos mecanismos son suficientes para generar algoritmos que implementan patrones de comportamiento semejantes a los que resultarían de la aplicación del principio de concesión Zeuthen-Harsanyi (ZH en lo que sigue). Este principio representa un método para lograr acuerdos racionales en situaciones de negociación, de las que el juego Partir la tarta VJ sería un buen modelo. Para los comportamientos que se desvían del equilibrio

⁴³⁰ Nos encontramos una vez más ante la preferencia revelada. Estas conclusiones triviales son en último término el resultado de las condiciones que impone la teoría de la elección racional en sus versiones más restrictivas: el orden de preferencias —del cual la función de utilidad es su medida— determinan rígidamente las decisiones.

⁴³¹ Sin embargo, sí pueden realizar otros tipos de actualización más ingenua (*cf.* *supra* 3.6 – 3.7).

equitativo, esta interpretación permite racionalizarlos⁴³² como sucesivas etapas en una negociación donde algún jugador no conoce con seguridad cuál es el punto de concesión del otro⁴³³. Finalmente, veremos que al cabo de pocas generaciones, las estrategias evolutivamente estables son casi siempre aquellas cuyo punto de concesión responde al equilibrio equitativo.

4.4.3 Experimentos con estrategias ilimitadas: aproximaciones al principio de concesión Zeuthen-Harsanyi

En los experimentos analizados en 4.1 cada individuo jugaba una sola vez con alguno de sus vecinos (UJ). Pero incluso si hubiese habido iteraciones, se trataba de estrategia insensibles, que siempre realizaban el mismo movimiento, con lo cual no había nada que observar en las conductas ajenas. En las simulaciones que presentaré a continuación el programa genera aleatoriamente una gran diversidad de estrategias, muchas de las cuales sí podrán modificar sus respuestas (en un juego iterado) en función de los movimientos observados anteriormente en el otro jugador. Puedo anticipar que bajo estas condiciones, los resultados han sido exactamente los mismos: partiendo de configuraciones uniformes, las estrategias evolutivamente estables acaban siendo siempre variantes de algoritmos que piden la mitad de la tarta (o valores muy próximos).

En el curso de una simulación pueden ir evolucionando estrategias sensibles, que van modificando sus demandas de una jugada a otra en función de los movimientos previos del otro jugador⁴³⁴. A su vez, entre estas estrategias sensibles, podrá haber algunas que vayan modificando sus propuestas de acuerdo con el principio de concesión HZ (o aproximaciones al mismo, según veremos). Ahora bien, cuando éste sea el caso, *no se debe, en el curso de una generación*, a que estas estrategias estén programadas para comportarse racionalmente en el proceso de negociación. En lo que sigue seré cuidadoso distinguiendo entre *individuos* que emplean una estrategia, y la estrategia como tipo o *especie* de algoritmo para tomar decisiones⁴³⁵. La aproximación racional a una solución

⁴³² Ahora sí, porque ya conocemos analíticamente *la* solución racional.

⁴³³ Hay que destacar, por tanto, que ahora ya no se puede mantener CK1. No se puede, precisamente porque hay que explicar ciertos “comportamientos” que serían irracionales bajo CK1. CK1 era una de las condiciones que en *el* juego básico nos permitía conocer la solución. Si hay CK1 cada jugador conoce el punto de concesión del otro, que será —supuesta una racionalidad ideal— el contenido en la solución de Nash para juegos de negociación. Si sus respuestas inducen a pensar que no conocen dicho punto de concesión, entonces hay que renunciar a CK1.

⁴³⁴ En este punto es especialmente importante tener en cuenta que “estrategia” significa aquí “algoritmo” —esto es, el conjunto de reglas que permiten a un agente artificial tomar una decisión— y no “curso de acción”.

⁴³⁵ Para una mejor comprensión de este argumento, conviene pensar que aquí se vuelve muy apropiada la aplicación de aquella “heurística de la personificación”, a la que nos habíamos referido en 2.2.2.

aceptable por ambas partes la encontramos más bien en el curso de una generación a otra. La negociación tendría lugar entre especies, más que entre individuos: con el paso de generaciones, la selección “natural” da lugar a individuos que se comportan *como si* supiesen regatear.

Para comprender este punto se debe tener en cuenta, primero, que el mayor o menor rendimiento adaptativo (la utilidad total que maximiza un individuo en los diferentes movimientos de un juego iterado) sólo se manifiesta al cabo de la generación, cuando una determinada regla de transición determina qué individuo o estrategia ha sido más exitosa⁴³⁶. Durante el curso de una generación, mientras un juego tiene lugar en sus diversas iteraciones, ningún individuo es “consciente” de si está maximizando o no su función de utilidad. En este sentido, pues, los agentes artificiales son completamente ciegos⁴³⁷. En segundo lugar, en el tránsito de una generación a otra, cuando el mecanismo de selección sí ha dejado de manifiesto qué reglas de comportamiento fueron más o menos maximizadores, los nuevos individuos, que han adoptado una cierta estrategia, *no tienen memoria* de los pasos efectuados en la generación previa.

Decíamos, pues, que el resultado evolutivo de estas simulaciones coincide con lo que sería la solución de Nash para el juego de negociación. Si además queremos interpretar la simulación como un modelo del procedimiento ideado por Zeuthen, esto es ciertamente posible, pero considerando que las sucesivas demandas corresponden a las diversas generaciones, y no a las diversas iteraciones que tienen lugar entre un par de *individuos* cuando juegan a Partir la tarta. De esta forma puede verse el principio de concesión Zeuthen-Harsanyi funcionando *también* en la primera serie de simulaciones (las de Skyrms, UJ) que no contaban en absoluto con estrategias sensibles.

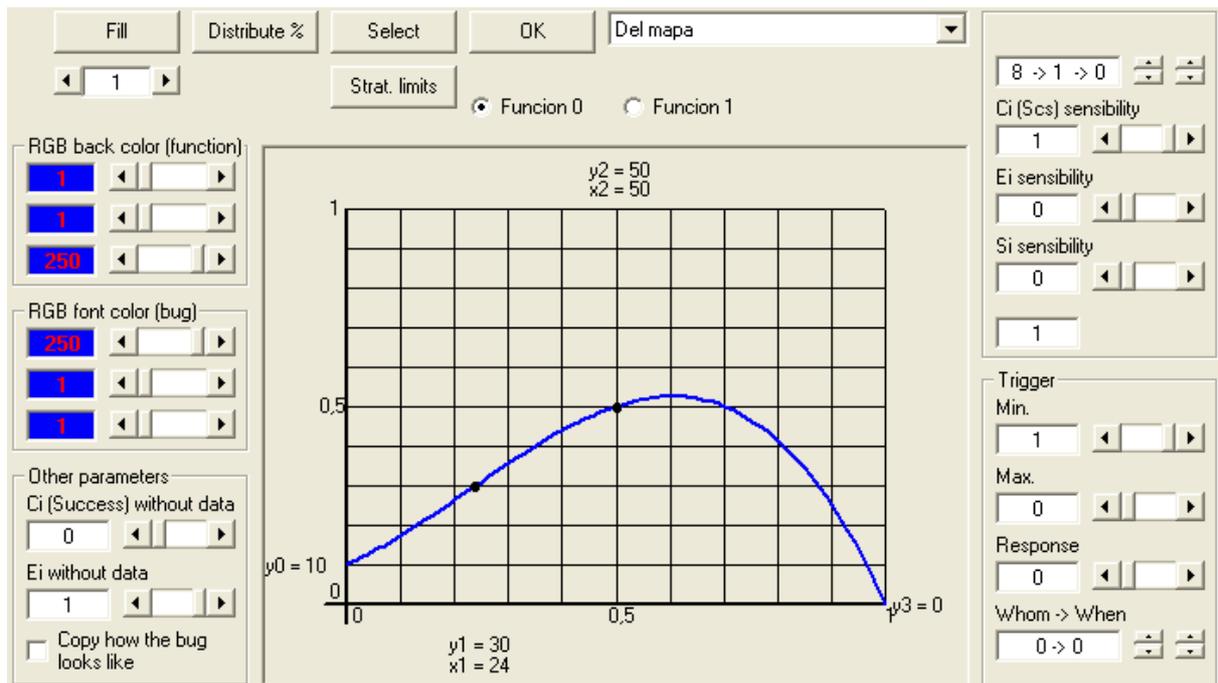
Lo que hace la selección natural (incluso en este contexto artificial) es eliminar tanto las demandas incompatibles como aquellas que sí son compatibles, pero subóptimas, tal como ocurre con los acuerdos ineficientes propuestos por las partes en el modelo de Zeuthen-Harsanyi.

Ahora bien, aunque he dicho que no hay algoritmos programados para aplicar, *en el curso de una generación*, este principio de concesión, sí podríamos intentar diseñar una estrategia que lo implementase. Posteriormente, y partiendo de un contexto totalmente aleatorio, podríamos comparar en qué medida se parecen las estrategias evolutivamente estables a esta otra que tomaremos como punto de referencia.

⁴³⁶ Menciono “individuo” o “estrategia” no porque esté confundiendo los dos conceptos que me propuse distinguir cuidadosamente, sino porque algunas reglas de transición (Replicator dynamics y Utilidad esperada) operan sobre estrategias, mientras que otras (MaxiMax y MaxiMin) seleccionan directamente individuos.

⁴³⁷ Tampoco se trata de que se encuentren en un juego de información incompleta. Simplemente carecen de todo propósito maximizador, aunque se comporten como si lo tuviesen.

Figura 9



Consideremos un jugador (J1) que adopta esta estrategia (que podemos llamar ZH). Todos los detalles que doy a continuación acerca de los parámetros que definen una estrategia se encuentran ampliados en el Apéndice A; aquí sólo los describo resumidamente. En primer lugar J1 observa el último movimiento que ha hecho el otro jugador (J2). Si no ha habido jugadas previas entre ambos, J1 busca cuál ha sido el último movimiento de J2 contra algún otro jugador (J3). Este patrón de búsqueda queda indicado con $8 \rightarrow 1$ en la casilla superior derecha⁴³⁸. Como se trata del juego Partir la tarta, los valores entre 0 y 1 que puede adoptar cualquier movimiento reflejarán la oferta que un jugador hace al otro: 0 no ofrece nada, 1 ofrece toda la tarta, 0,5 la mitad, etc. Si J2 no ha jugado todavía con nadie, J1 supone que J2 comenzará por hacer la propuesta que le rinda a J2 el máximo beneficio posible⁴³⁹. En mi simulación el juego es *continuo*, de forma que esta primera propuesta *tendería* a 0, aunque nunca debería ser 0, para que se cumpla la condición de que una propuesta debe ofrecer al otro jugador al menos tanto como recibiría en caso de que no se llegara a un acuerdo⁴⁴⁰. Así pues, tanto si J1 tiene referencias de la última propuesta de J2, como si no, en el eje x se indica el valor de dicha propuesta. En el eje y se representa la propuesta de J1 para un determinado valor de x , la

⁴³⁸ Más detalles en el Apéndice A, epígrafe 4.

⁴³⁹ Para una explicación de esta condición, véase Blanca Rodríguez, 1991, p. 313.

⁴⁴⁰ *Cfr.* Blanca Rodríguez, 1991, p. 313

cual siempre será algo más generosa que la de J2. En teoría, esta nueva propuesta de J1 podría ser *infinitesimalmente* mayor que la de J2. En este ejemplo he decidido que J1 ofrezca 1, con el fin de acelerar el proceso, sobre todo a la vista de que el número de iteraciones queda limitado a 10.⁴⁴¹

De este modo, ahora la concesión de J2 será menor que la de J1 ($C_2 < C_1$). Y si J2 emplease esta misma estrategia, vemos que $f(2) = 2.5$, con lo cual ambos irían aproximando sus concesiones, hasta que ambas coincidirán en el punto $y = 0.5$ $x = 0.5$, donde $C_1 = 0$ y $C_2 = 0$ ⁴⁴².

Lo que ocurre cuando $x > 0.5$ es un intento de reflejar lo que decidiría un agente racional si la otra parte hiciese propuestas irracionales, esto es, mayores que 0.5. Este supuesto cae fuera de las condiciones iniciales planteadas por el procedimiento ZH, y además queda muy restringido por condiciones técnicas relativas a cómo está programada la simulación. Por ello la interpretación que ofrezco a continuación es meramente tentativa. ¿Qué haríamos si nos ofreciesen de entrada más de la mitad de la tarta? Podríamos terminar el regateo, aceptando esa propuesta o bien, viendo lo irracional del otro jugador, procurar por el contrario que aumente aún más su grado de concesión. Lamentablemente, la primera alternativa no está contemplada en *Bichos*. El número de iteraciones, seleccionado por el usuario, se mantiene constante, y ninguna estrategia puede finalizar un juego arbitrariamente. La segunda alternativa tampoco es viable, y ello nuevamente por el modo en que están implementadas las funciones (definidas por cuatro puntos). Un agente que intentase explotar la presunta irracionalidad del otro jugador tendría en su función de cooperación una curva *cóncava* (hacia arriba) decreciendo desde 0.5 hasta 1 (la de la figura 9 es *convexa* hacia arriba). Si quisiéramos hacer una lectura más favorable, que no incida tanto en las limitaciones de la simulación, podríamos decir que es una curva “aversa al riesgo”, que aprovecha la irracionalidad del otro, pero sin abusar. Así, por ejemplo, vemos que si J2 sólo pide el 10% ($y = 0,9$) J1 pide el 75% ($x = 0,25$). Si exigiese más del 90% no se llevaría nada en esa jugada.

⁴⁴¹ Cabe pensar que la línea que va del punto ($x = 0, y = 0,1$) al punto ($x = 0,5, y = 0,5$) debería ser completamente recta, lo cual no es el caso debido al modo en que estas funciones de cooperación y coordinación están implementadas en el programa. Sin embargo, no tiene por qué ser así, y una línea irregular entre estos puntos indicaría simplemente que los diversos grados de concesión no se van modificando según la misma razón (*ratio*).

⁴⁴² En Blanca Rodríguez, 1991, p. 314, se encuentra una exposición completa y con ejemplos precisos del método para calcular estos niveles de concesión.

Esta estrategia que acabo de analizar sería *lo más parecido* a un modelo de agente que emplease el principio de concesión ZH. Ahora bien, este principio supone un grado de racionalidad que en las simulaciones muy raramente estará presente en el “origen del mundo”. ¿Qué ocurre si el otro jugador no está dispuesto a incrementar sus concesiones? Ante una disposición semejante, si se la detectase, lo racional sería ceder y conformarse con una propuesta desfavorablemente poco equitativa.

Vinculado a esta última pregunta tenemos el resultado más destacable de la segunda serie de simulaciones que he realizado, aquellas que cuentan con toda la variedad de estrategias, sensibles o no, racionales o irracionales, que se pueden generar con *Bichos*. En esta ocasión los resultados de interés no se pueden expresar en términos cuantitativos. Mejor dicho, no vale la pena desglosarlos de este modo, porque pueden resumirse muy fácilmente: el 89% de las simulaciones convergen hacia poblaciones con jugadores que hacen siempre propuestas equitativas, o muy próximas a esta equidad. Y ello con independencia del tipo de vecindarios, número de iteraciones o regla de transición empleada. La explicación analítica de este fenómeno tan uniforme es la misma que habíamos encontrado para los modelos más simplificados de Skyrms.

No obstante, el resultado más notable lo encontramos cuando el número de iteraciones es elevado (10, que es el máximo posible en esta simulación). Y como acabo de indicar, se trata de conclusiones cuya relevancia se expresa mejor cualitativamente, analizando el *tipo* de estrategias que en la mayoría de los casos resultan evolutivamente estables. En un juego dinámico, con varios movimientos, descubrimos que son básicamente tres los tipos de algoritmo favorecidos por la selección natural. Para ello, he puesto en marcha 100 veces la simulación **PartirTarta_VJ (4_3_3).dpt**, con las siguientes condiciones.

- El juego es continuo: los jugadores pueden ofrecer cualquier porción de tarta, comprendida en el continuo 0 – 1.
- A diferencia del modelo de Skyrms, aquí los jugadores *pueden* (o no) ser sensibles. Son capaces de atender a movimientos previos, tanto de sus rivales directos como de interacciones entre terceros.
- Hay mutaciones, con una frecuencia de 5 por 1000 al cabo de cada generación. Una mutación afecta a un solo parámetro de cada estrategia, que se verá modificado al azar.
- La reproducción es asexual, esto es, se trata de un modelo de evolución cultural (por imitación), más que biológica. Obviamente, puede ser también un modelo biológico de reproducción asexual.

- Iteraciones: en una generación, cada par de jugadores que resultan emparejados repiten su interacción 10 veces.
- El tipo de regla es Replicator dynamics (en principio la *menos* favorable a las estrategias equitativas).
- El vecindario es de von Neumann (jugador central y 4 vecinos), y los emparejamientos son al azar. Sin embargo, ya he apuntado que el cambio de las condiciones indicadas en este punto prácticamente *no afecta* el curso de la evolución, que siempre tiende a estabilizarse en poblaciones de individuos equitativos.

Las poblaciones se estabilizan relativamente rápido, transcurridas alrededor de 100 generaciones. Enumero a continuación la frecuencia con que ciertos tipos de estrategias han resultado evolutivamente estables. Aunque es prácticamente imposible que exactamente la misma estrategia se genere al azar y evolucione en diferentes experimentos, sí es notable el gran parecido que existe entre los pocos tipos que finalmente se mantienen estables (sin olvidar que en ningún experimento ha sido *una sola estrategia* la que ha ocupado toda la población, sino que han coexistido con una o más de las restantes que aparecen en la lista). Los nombres que he escogido para cada clase, y una explicación de la misma, se encuentran inmediatamente a continuación de esta tabla.

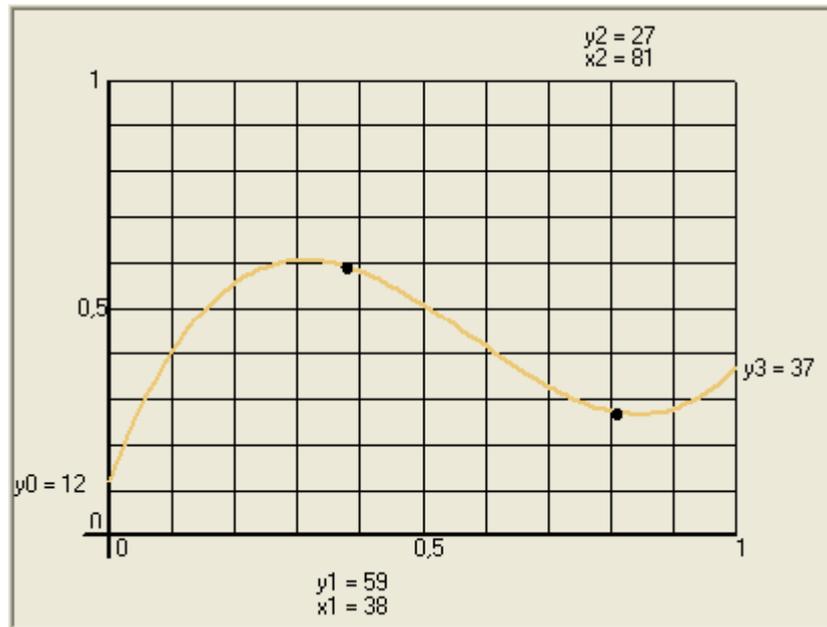
Tabla 19

Tipo de estrategia	Frecuencia: número de experimentos, de un total de 100, en que ha resultado evolutivamente estable
HZ conformista	29
Descendente	26
HZ	25
Polimorfismo 7-3 o 6-4	11
Constante	8
Otras	1

La estrategia HZ es la que más arriba habíamos intentado diseñar como algoritmo aproximado de lo que sería el principio de concesión HZ. Tomando ésta como punto de referencia, cabe destacar que formas notablemente parecidas a ella (figura 9, *supra*) han terminado por imponerse en 1 de cada 4 experimentos, partiendo de configuraciones totalmente aleatorias.

La regla que he llamado “HZ conformista” tiene un aspecto aproximadamente así:

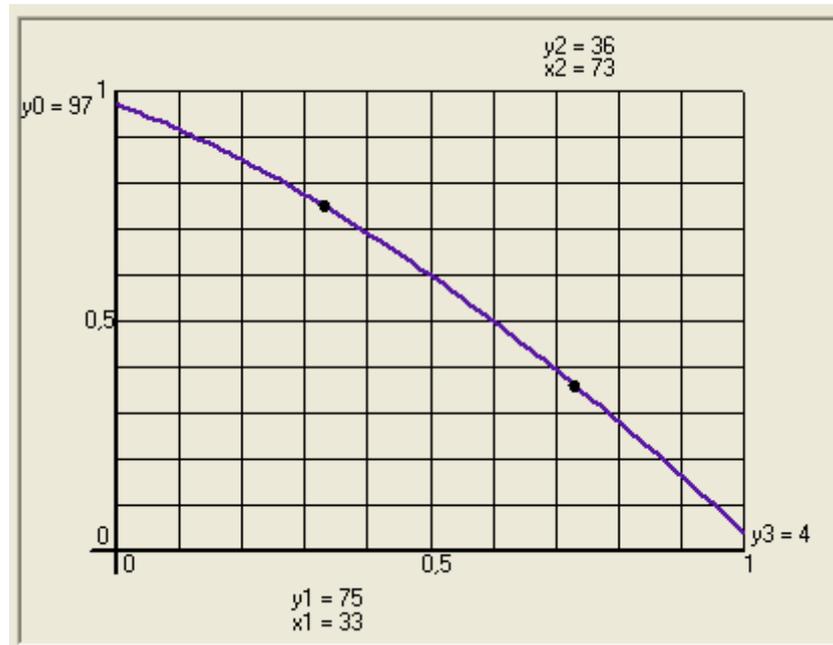
Figura 10



Continuamos llamando J1 al jugador que usa la regla que analizamos. Si el otro jugador (J2) concede algo menos de lo que sería una propuesta equitativa ($x = 0,4 - 0,5$) J1 “acepta” dicha propuesta ($y = 0,6 - 0,5$). Para valores de x entre 0 y 0,4 J1 no acepta la propuesta de J2, pero incrementa su propio grado de concesión, lo cual conduciría al cabo de varios movimientos al equilibrio donde se igualan las concesiones de ambos (supuesto que J2 emplea una estrategia semejante a la de J1, es decir, que aplica también formas aproximadas de este mismo principio de concesión). Lo que he denominado “conformismo” de esta estrategia es una manera de aprovechar ciertas estrategias irracionales que pueden encontrarse en las primeras generaciones de la simulación. Si J2 insistiese siempre en pedir el 60% de la tarta, tampoco estaría mal conformarse con el 40% —si lo podemos expresar así— antes que perderlo todo por no llegar a un acuerdo. Si las ofertas de J2 son aún menores, entonces nos estaríamos acercando cada vez más al incumplimiento del principio según el cual el resultado propuesto al otro jugador (J1) tiene que ser más beneficioso que el resultado derivado de la falta de acuerdo, de forma que J1 tampoco pierde tanto rechazando ese trato y obligando a J2 a elevar su nivel de concesión. (Como he dicho, estos valores concretos están tomados del análisis de la figura 10; por lo demás, el espectro de estrategias de este *tipo* es muy amplio, y pueden variar en sus detalles. Aquí el conformismo es desde luego una cuestión de grado, que se puede expresar también como una mayor o menor aversión al riesgo).

Veamos a continuación la estrategia “Descendente”:

Figura 11



Esta disposición es totalmente conformista, por cuanto acepta cualquier propuesta, no importa cuán escaso sea el beneficio que obtenga de ella, por encima del resultado que conseguiría si no hubiese acuerdo. Sin embargo, podemos notar que también aprovecha las ofertas de otras estrategias irracionales, ajustando sus demandas casi perfectamente a las propuestas de éstas. Por ejemplo, si J2 pide 30% ($x = 0,7$) J1 pide 60% ($y = 0,4$). Es interesante observar que si esta estrategia juega contra sí misma, sus propuestas convergerían hacia concesiones equivalentes. Lo que tardan en alcanzar este punto de equilibrio dependerá de las propuestas iniciales que se hagan una a otra. En la mayoría de los casos, las estrategias de este tipo evolucionan de tal modo que, pese a su carácter conformista por un lado, y abusivo por otro, comienzan sin embargo por hacer ofertas equitativas en los primeros movimientos, lo que explica su relativo éxito adaptativo en el conjunto de las simulaciones (incluso levemente más exitosa que HZ) en la medida en que se ahorran etapas del regateo durante las cuales las combinaciones de pagos obtenidos son subóptimas.

Las estrategias de tipo “Constante” son variedades de las estrategias equitativas, *no sensibles*, que se imponían siempre en la primera serie de experimentos. Allí teníamos su forma “ideal”, por decir así, descrita como $f(x) = 0,5$. Es decir, siempre piden la mitad de la tarta, independientemente de qué movimientos haga el otro jugador. En este sentido,

pues, no se puede decir que sean muy inteligentes, pese a lo cual se adaptan bien a una gran diversidad de situaciones. En esta segunda serie de experimentos nunca aparecen en su forma “pura”, sino que las curvas muestran pequeñas oscilaciones, arriba y abajo, pero siempre muy próximas a 0,5.

Además de estas estrategias, ha habido 11 experimentos en los cuales el equilibrio de la población consistía en polimorfismos donde un grupo de jugadores pedía porciones entre el 30% y el 40% de la tarta, mientras que otro conjunto demandaba la porción complementaria (entre 70% y 60%). En todos los casos, *sólo uno* de estos grupos empleaba estrategias constantes (ya fuese pedir 30, 40, 60 o 70%). El otro sector de la población estaba formado por estrategias *sensibles*, de alguno de los tres tipos descritos anteriormente, mostrando así su capacidad de adaptación a disposiciones que en principio calificaríamos de irracionales, en la medida en que no son capaces de seleccionar el equilibrio equitativo sugerido por las soluciones de Nash y ZH.

4.4.4 Sentido de definir *un* juego en la simulación

Nos preguntábamos al inicio de 4.4.2.5 qué sentido tiene decir que los individuos de la simulación están jugando a Partir la tarta, pues a la vista de sus comportamientos podría interpretarse que están jugando a infinidad de juegos.

La pregunta es totalmente legítima. Para responderla pensemos primero en un sentido mínimo en el que podemos considerar que pese a todo se trata de un solo juego: los cursos de acción disponibles y los estados de cosas que resultan de ellas siguen siendo los que definíamos al principio. Además, esos estados de cosas (los trozos de tarta) *son todo lo que hay en el mundo*. No caben especulaciones adicionales acerca de si un jugador pide una determinada porción porque le gusta más el color que tiene cierto trozo de la tarta, o porque está lloviendo. Más en general, por tratarse de agentes artificiales cualquier componente psicológico queda cancelado. Pero sigue pendiente la pregunta por la racionalización de sus decisiones. ¿Por qué entonces se comportan *a veces* como si jugasen a otra cosa? Una respuesta consistiría en entender que no hay ninguna razón, más que el propio hecho de que no tienen por qué ser necesariamente agentes maximizadores. Claro está, nadie puede saber esto mientras no examine el funcionamiento de las simulaciones “desde dentro”. Para quien sólo lo considere desde los resultados todas las interpretaciones que hemos manejado (juegos de información incompleta, de información imperfecta, funciones de utilidad diferentes de $u(x) = x$, etc.) vienen forzadas por la teoría de la elección racional y su exigencia —en su dimensión descriptiva— de que todas las conductas sean por definición maximizadoras. Y ya sabemos que la consecuencia *lógica* de esta definición es que las decisiones *irracionales* son imposibles.

Otra respuesta más interesante requiere notar que pese a su carencia de psicología, y aunque los estados de cosas no sean más que los propios pagos que definen el juego en su forma más abstracta, hay algo más que los agentes podrían estar incluyendo en su función de utilidad: *los pagos del otro jugador*. Al menos en la simulación esto es perfectamente posible. Y el hecho de que no haya ningún otro tipo de influencias, aleja este tipo de disposiciones de un eventual “egoísmo psicológico” oculto tras inclinaciones benevolentes. Los agentes artificiales, cuando incluyen los intereses ajenos en su propia función de utilidad no lo hacen por sentirse bien, ni por aliviar su conciencia. Simplemente lo hacen.

Ahora bien, si hay que ajustarse coherentemente a la racionalidad ideal que exige la teoría, entonces no hay por qué escoger (definir) un juego en particular. Las posibles preferencias de los agentes sobre los estados de cosas —incluyendo los estados de cosas en relación con el otro jugador— son prácticamente ilimitadas. Pero los estados de cosas, aquello sobre lo que recaen sus preferencias, sí están acotados con total precisión. La teoría de juegos es una construcción puramente formal, y sin embargo es reconocible el componente material que incorpora esta distinción. Con todo, ya habíamos indicado (2.1.5) que esta idea de “pago material” no sólo es legítima sino que representa el supuesto sin el cual la teoría de juegos *evolutiva* es imposible. Pues al situarnos en un marco evolutivo son dichos estados de cosas, y no las preferencias sobre ellos, lo único que decide la existencia de ciertos tipos de estrategia. Las preferencias pueden ser cualesquiera, pero la evolución selecciona aquellos individuos que tienen las *preferencias “correctas” en lo que respecta a su subsistencia*. La teoría de juegos evolutiva explica por qué no es posible, de hecho, tener cualquier preferencia, definido un cierto juego *real*. O dicho de otro modo: hay una evolución de las preferencias, *determinada* por aquello sobre lo que recaen las preferencias. En el capítulo 5 examinaremos las consecuencias de esta conclusión para el desarrollo de una ética naturalista y una justificación última de la moralidad.

4.4.5 Resumen

Lo que todos estos experimentos nos permiten constatar es la misma consecuencia que Skyrms deriva de sus simulaciones.

Our evolutionary analysis does not yield the Panglossian proposition that perfect justice *must* evolve. But it does show us some things that are missed by other approaches. The concept of *equilibrium in informed rational self-interest* —the Nash equilibrium concept of classical game theory— left us with an infinite number of pure equilibrium strategies. The evolutionary approach leaves us with one evolutionary stable pure strategy —the strategy of share and share alike.⁴⁴³

⁴⁴³ Skyrms, 1996, p. 20

Aunque CK1 y CK2 no sean suficientes para seleccionar uno de los múltiples equilibrios de Nash que presenta el juego de Partir la tarta UJ, el equilibrio al que conduce el curso evolutivo es exactamente el mismo que encontramos en las soluciones de Nash, Harsanyi y Zeuthen.

En Partir la tarta VJ la sombra del futuro, por débil que sea, sí permite a dos agentes perfectamente racionales e informados coordinarse en *un* equilibrio, sin necesidad de recurrir a conceptos más refinados de equilibrio. Sin embargo, la explicación de ciertas conductas observadas implica rechazar CK1 o CK2. Renunciando al conocimiento común de las funciones de utilidad, una racionalización plausible de lo que ocurre en los primeros estadios de Partir la tarta VJ consiste en interpretar las interacciones como las diversas etapas de un proceso de negociación, siguiendo aproximadamente las pautas descritas en el procedimiento de concesión ZH.

En VJ este proceso de “regateo” puede reconocerse en el nivel de los individuos actuando en el curso de una generación —sobre todo cuando se han hecho estables las estrategias que incorporan este método—, y también al nivel de las especies, a lo largo de sucesivas generaciones. En UJ no se dan las condiciones para que los individuos se vean envueltos en una negociación, pero ésta puede igualmente situarse entre especies, como en VJ.

Una vez más, ninguno de estos resultados presupone ningún tipo de racionalidad en el funcionamiento de la simulación *per se*. CK1 y CK2 son sólo, por un lado, las condiciones para definir un juego y su solución racional, y por otro, la *interpretación* que cabe hacer de los resultados de la simulación. El único supuesto propiamente incorporado en la simulación es el modelo dinámico darwinista. A partir de éste, del caos inicial evolucionan y se mantienen reglas artificiales que se comportan *como si* fuesen agentes racionales, maximizadores bayesianos. Así, no sólo tenemos la heurística de la personificación, que nos permitía trazar paralelismos entre evolución y elección racional; el modelo informático confirma además la tesis de la biología evolutiva según la cual la propia capacidad de elegir racionalmente es resultado de la selección natural.

4.5 El juego del Ultimátum

4.5.1 Introducción

En esta sección me ocuparé de lo que sería la variante *extendida* del juego Partir la tarta. Es importante no confundir este carácter sucesivo con los juegos iterados que habíamos visto al analizar el DP (4.3) y Partir la tarta VJ (4.4.2). En un juego extendido, como en cualquier otro juego *no iterado*, cada jugador ha de tomar una sola decisión. La diferencia reside en que uno de los jugadores (convencionalmente el jugador 1) toma su decisión *primero*, y el jugador 2 mueve a continuación, sabiendo cuál ha sido ese primer movimiento del jugador 1⁴⁴⁴. Como veremos enseguida, esta asimetría cambia radicalmente la naturaleza del juego, aunque la estructura de pagos continúe siendo la misma. Por lo demás, un juego puede ser extendido y además iterado, si se repite esta situación en la que se producen tomas de decisiones diferidas.

El apéndice A contiene una descripción detallada de cómo funcionan los algoritmos que en *Bichos* definen los agentes artificiales. Sin embargo, en este epígrafe será preciso entrar en algunos de estos pormenores técnicos, sin los cuales quedaría incompleta esta exposición del juego del Ultimátum, resultando en gran parte incomprensibles los resultados que extraemos de las simulaciones.

El juego consiste en lo siguiente. Se propone a dos individuos, Jugador 1 y Jugador 2 (J1 y J2), que se pongan de acuerdo acerca de cómo distribuir un determinado bien entre ellos. Si llegan a un acuerdo, cada uno recibe lo pactado; de lo contrario ninguno recibe nada. Aquí se termina la semejanza con el juego de Partir la tarta, pues en Ultimátum uno de los jugadores, J1, es el encargado de *proponer* una cierta distribución del bien (por ejemplo, 50% para J1 y 50% para J2, o quizá 90% para J1 y 10% para J2, etc.). Por su parte, J2 tiene que decidir si acepta o no la distribución ofrecida por J1. Si J2 acepta, cada uno recibe la porción que había seleccionado J1, pero si J2 rechaza la distribución propuesta los dos se quedan sin nada.

Tomando arbitrariamente (en favor de la claridad) algunas de las distribuciones posibles, el juego puede representarse en la siguiente tabla:

Tabla 20

	J2 acepta [1]	J2 rechaza [0]
J1 ofrece el 90 % [1]	10 ; 90	0 ; 0
J1 ofrece el 75 %	25 ; 75	0 ; 0
J1 ofrece el 50 %	50 ; 50	0 ; 0
J1 ofrece el 25 %	75 ; 25	0 ; 0
J1 ofrece el 10 % [0]	90 ; 10	0 ; 0

Obsérvese que aunque no contemplado en el modelo de Skyrms, es posible que J1 ofrezca a J2 una porción incluso mayor que la que demandaría para sí.

⁴⁴⁴ En la sección anterior (4.4.2.2.4) quedó explicado que si J2 moviese después, pero sin saber lo que ha hecho J1, la situación no se diferenciaría en nada de un juego simultáneo.

Según lo que predice la teoría de la elección racional, J1 debería ofrecer a J2 una porción tan pequeña como sea posible, y J2 debería aceptar siempre cualquier oferta de J1 que sea mayor que 0. Sin embargo, en múltiples experimentos realizados con sujetos reales, éstos tienden a mostrar una clara preferencia por distribuciones equitativas tanto si tienen que hacer una oferta, como si tienen que aceptarla o rechazarla⁴⁴⁵. Es decir, las ofertas de los agentes reales tienden a estar entre el 40% y el 50% ⁴⁴⁶, y muestran además una clara tendencia a rechazar ofertas que consideran muy bajas, prefiriendo no obtener nada y castigar así a quien se ha mostrado tan poco equitativo.

La cuestión fundamental que nos debemos plantear a la vista de estos resultados, la necesidad de una explicación evolutiva de los mismos, la manifiesta Skyrms en la siguiente observación:

[...] aquí tenemos una clara violación del paradigma de la elección racional sólo bajo el supuesto de que, para estos sujetos, utilidad = ingresos. Desde el punto de vista de una teoría de la elección racional, son los sujetos los que determinan sus funciones de utilidad. No hay una razón por la cual las normas de justicia no puedan reflejarse en sus utilidades de tal modo que hagan a sus acciones consistentes con la teoría de la elección racional.

Apelar a normas de justicia, sin embargo, difícilmente es una explicación en sí misma. *¿Por qué tenemos tales normas? ¿De dónde vienen?* Si quedan modeladas como factores en una función de utilidad subjetiva, *¿cómo resultan esas funciones de utilidad estar tan extendidas?*⁴⁴⁷

Y en efecto, una explicación evolutiva puede resultar muy apropiada para responder a estas preguntas. Skyrms presenta un escenario evolutivo donde las estrategias “anómalas”⁴⁴⁸ pueden evolucionar prosperando más que las estrategias “racionales”, maximizadoras de la utilidad.⁴⁴⁹ Skyrms propone un escenario evolutivo con las siguientes características.

- Inicialmente se cuenta con ocho estrategias (S1, S2, ..., S8), que resultan de la combinación (2 x 4) de las siguientes posibilidades: *a) ofrecer 5*, o *b) ofrecer 1*, si se adopta el papel de J1; *c) aceptar cualquier oferta*, *d) rechazar cualquier oferta*, *e) aceptar una oferta de 5 pero rechazar una oferta de 1*, y *f) aceptar una oferta de 1 pero rechazar una oferta de 5*, todo ello si se está en la posición de J2.

⁴⁴⁵ Una enumeración pormenorizada de estos resultados puede encontrarse por ejemplo en Sigmund (2002). Véase también Nowak, Page y Sigmund (2000).

⁴⁴⁶ Una notable excepción la constituye la tribu amazónica de los Machiguenga, cuyos sujetos ofrecían una media del 26% en diversos experimentos. *Cfr.* Henrich, 2000.

⁴⁴⁷ Skyrms, 1996, p. 28.

⁴⁴⁸ “Anómalas” desde el punto de vista de lo que predice la teoría de la elección racional, es decir, aquellas estrategias que anteponen la equidad a la maximización de la utilidad propia.

⁴⁴⁹ *Cfr.* Skyrms, 1996, pp. 28 – 33

- En cada jugada, a cada agente le puede tocar, con probabilidad 1/2, ser quien ofrece (jugador A) o quien tiene que aceptar o rechazar la oferta (jugador B).
- En principio no hay mutaciones. Si las hay, las estrategias sólo mutan o se recombinan para dar formas ya conocidas (alguna de las ocho estrategias).
- Las proporciones iniciales en las que cada estrategia se halla presente en el “origen del mundo” son muy definidas y tienen que dar cierta ventaja inicial a dichas estrategias anómalas (al menos 30% de la población inicial⁴⁵⁰). Si la distribución inicial es homogénea las estrategias racionales (“injustas”) se adueñan rápidamente del mundo.
- La regla de transición es una vez más Replicator dynamics. A diferencia de lo que ocurría con los juegos estudiados en las secciones previas, ahora es ésta la regla que favorece evolutivamente a las estrategias que más se ajustan a nuestras intuiciones morales. Aunque Skyrms no tiene en cuenta otras reglas, en *Bichos* puede constatar que si en cambio se emplean MaxiMax o Utilidad esperada, las estrategias *racionales* superan rápidamente a las anómalas. Esto concuerda con la teoría económica, pero no con la realidad.

Los resultados de estos experimentos y su análisis hay que postergarlos por el momento (*cfr. infra* 4.5.4), pues para comprender su significado será necesario extendernos todavía un poco sobre más ciertas cuestiones teóricas.

Para poder simular estas condiciones es necesario que cada algoritmo cuente con dos modos diferentes de vincular los estímulos y las respuestas. Entenderemos por “estímulo” los datos que una estrategia extrae del entorno (por ejemplo, las respuestas previas observadas en otros individuos), mientras que la “respuesta” será simplemente el movimiento escogido en el juego (ofrecer una determinada cantidad, aceptar o rechazar). Llamaré “función” a esta relación entre estas entradas y salidas, sin que este término tenga nada que ver con las funciones de utilidad estudiadas en teoría de juegos. Sólo con dos funciones diferentes (cooperación y coordinación⁴⁵¹) pueden las estrategias de *Bichos* llegar a mostrar lo que Skyrms identifica como “racionalidad modular”. En cuanto definamos este concepto, reconoceremos en él el equilibrio perfecto en subjuegos (EPS) que Selten proponía para eliminar los equilibrios que resultan de amenazas no creíbles⁴⁵². No obstante, me valdré en esta sección del término que usa Skyrms. Además, conviene adelantar que el uso de dos funciones diferentes es necesario para que los agentes artificiales puedan, llegado el caso, poner en práctica amenazas que desde la perspectiva

⁴⁵⁰ *Cfr.* Skyrms, 1996, p. 31.

⁴⁵¹ En el apéndice A (epígrafe 2) se encuentra la explicación precisa de estas funciones y qué tipo de operaciones realizan.

⁴⁵² *Cfr. supra* 4.4.2.1.1

de la teoría heredada *no* serían creíbles. Al menos como posibilidad es necesario para poder construir un modelo de los comportamientos anómalos a los que me he referido. Hay que dar cabida a la capacidad de amenazar y castigar, esto es, eventualmente llevar a cabo acciones que no maximizan la utilidad propia, sino que minimizan la del otro agente.⁴⁵³

4.5.2 Racionalidad modular, promesas, amenazas y el problema del cumplimiento (*commitment*)

El hacer promesas o amenazas, no sólo como conducta verbal, sino como comportamiento efectivo —en el sentido en que Austin explica *how to do things with words*— es algo que podemos observar a diario. Un análisis desde la teoría de juegos, o más en general la teoría de la elección racional, pone sin embargo de manifiesto la irracionalidad que en principio subyace a este tipo de acciones. Para centrarnos en este punto tenemos que dejar al margen la función que desempeñan las promesas o amenazas en la formación de reputaciones. De lo que aquí se trata es del cumplimiento (*commitment*) incluso cuando sabemos que no habrá una próxima vez. Conseguir que una promesa o una amenaza sean creíbles implica estar dispuesto a tomar en el futuro una decisión que *no* maximizará nuestra utilidad. Y no sólo eso, sino además que nuestra disposición a obrar en contra de nuestros intereses sea tomada en serio. El concepto de “castigo” comparte con las promesas y las amenazas esta condición de acción irracional, y de hecho suele ser la consecuencia de una amenaza. Cuando Nash, por ejemplo, introduce el concepto de amenaza en su análisis de juegos de negociación, destaca que

The point of this discussion is that we must assume there is an adequate mechanism for forcing the players to stick to their threats [...] once made [...]. Thus we need a sort of umpire, who will enforce contracts or commitments.⁴⁵⁴

El contexto en el que Nash plantea esta necesidad no es ni evolutivo ni moral, pero la observación es pertinente para captar el carácter en principio *irracional* de una amenaza que no contase con la garantía de su cumplimiento. Piénsese que si amenazo o prometo hacer A, y A fuese en beneficio de mis intereses, ¿por qué no realizar A *ahora*, independientemente de las condiciones a las que está sujeta la amenaza o la promesa? La condición para el cumplimiento de la amenaza o la promesa es otra acción, B, que intentamos sea realizada (o no) por otro agente.

⁴⁵³ Cfr. Skyrms, 1996, pp. 22 – 24

⁴⁵⁴ Nash, 1953, p. 130

Este concepto de *cumplimiento*, al que antecede la capacidad de hacer promesas creíbles, es central en la argumentación de Gauthier acerca de la disposición del *maximizador restringido*, que permite interacciones más beneficiosas que las que puede esperar un *maximizador directo*. Consideremos la historia de Gauthier, tomada a su vez del clásico ejemplo de Hume:

Mi siembra estará lista para segar la semana que viene; la tuya en quince días. A ambos nos conviene segar juntos; es mejor que hacerlo solos. Tú me ayudarás la semana que viene si esperas que, a cambio, yo te ayude dentro de quince días. Supongamos que tú, en efecto, me ayudas. Reflexionemos ahora sobre mi decisión de ayudarte. He conseguido lo que quería: tu ayuda. Si no intervienen otros factores relevantes, ayudarte ahora significa un coste para mí. Desde luego que ayudarte ahora sería mejor para mí que haber tenido que cosechar solo por no comprometerme a ayudarte, pero mejor aún sería haber recibido tu ayuda, y ahora no devolvértela. [...] Como somos personas racionales, ambos sabemos esto. [...] No tendría sentido fingir que es diferente. De modo que tú sabes que no corresponderé a tu ayuda y, como no eres ningún primo, te quedarás tan fresco viendo cómo cosecho solo. Ninguno ayudará al otro y la situación será, para ambos, peor de lo necesario. Nos quedaremos sin el beneficio potencial de la cooperación.⁴⁵⁵

Valga esto como ilustración. En este momento podemos pasar por alto la propuesta que Gauthier nos ofrece para poder deliberar de manera tal que podamos hacer promesas creíbles y cumplirlas. Se trata básicamente de una auténtica solución *moral*, relativa a la disposición genuina que habría de adoptar un agente racional y *moral*. Lo que ahora nos importa —el objeto al que están orientadas las simulaciones de Skyrms— es cómo esta posible disposición auténticamente moral tiene su correlato, y su posible origen, en un marco evolutivo, donde la selección natural favorece estas disposiciones capaces de ajustarse al *cumplimiento*.

Para ello nos centraremos en el otro tipo de conducta que requiere un cumplimiento para ser efectiva. Consideremos la siguiente *amenaza*, que Skyrms extrae de una conocida película:

In Stanley Kubrick's 1963 film, *Dr. Strangelove, or How I Learned to Stop Worrying and Love the Bomb*, the USSR has built a doomsday machine —a device that, when triggered by an enemy attack [...] will set off a nuclear explosion potent enough to destroy all human life. The doomsday machine is designed to be set off by tampering, not to guard it from the enemy but to guard it from its builders having second thoughts. For surely if there were attack, it would be better for the USSR to suffer the effects of the attack than to suffer the combined effects of the attack and the doomsday machine. And if their enemies could anticipate this, the doomsday machine would lose its power to deter aggression. For this reason, the commitment to retaliate had been built into the doomsday machine. Deterrence requires that all this be known⁴⁵⁶.

⁴⁵⁵ Gauthier, 1998b, pp. 121 – 122

⁴⁵⁶ Skyrms, 1996, p. 22. (El título de esta película en español es *Teléfono rojo, volamos hacia Moscú*).

Este caso es algo diferente del presentado por Gauthier, pues aquí la garantía de que habrá un cumplimiento de la amenaza está plenamente asegurada por un artificio técnico que “ata las manos” de su creador. Por otra parte, sí tiene en común con el ejemplo de Gauthier la necesidad de *dar a conocer* la fiabilidad de esta disposición a cumplir. De lo contrario el cometido disuasorio de la máquina sería totalmente ineficaz.

Para terminar de introducir el concepto de “racionalidad modular” —que es lo que ahora nos interesa— Skyrms plantea si sería racional *no* responder a un ataque nuclear, si por algún motivo la máquina fallase y nuestras manos volviesen a estar libres para no presionar el botón. Y su conclusión es acorde con la teoría de juegos convencional: cumplir semejante amenaza sería irracional, pues siempre sería mayor la utilidad (supuesto necesario para esta discusión) de vivir en un mundo parcialmente destruido que la de acabar con la vida en la tierra, incluida la nuestra. Simplemente ocurre que las circunstancias en las cuales es construida la máquina —y el hacer pública su existencia— son *diferentes* de esa otra situación en la que recibimos el ataque y la máquina falla, permitiéndonos la elección de no contraatacar⁴⁵⁷. El poder dar respuestas diferentes en función de la diversidad de situaciones es lo que con Skyrms denominaremos “racionalidad modular”.

The point is not really confined to threats. In a credible contingency plan for a situation in which an agent faces a sequence of choices, her plan should specify a *rational* choice at each choice point, relative to her situation at that choice point. Such a contingency plan exhibits *modular rationality* in that is made up of modules that specify rational choices for the constituent decisions.⁴⁵⁸

Valiéndose de experimentos virtuales, el objetivo de Skyrms es mostrar cómo en determinados escenarios estas estrategias irracionales, que no superan el test de la racionalidad modular, pueden pese a todo ser evolutivamente estables⁴⁵⁹.

El juego del Ultimátum es relevante para el concepto de racionalidad modular porque en él los agentes pueden encontrarse en dos situaciones totalmente diferentes, que implican dos modos diversos de entender la acción *irracional*. En el papel de J1 (el que hace la oferta) sus opciones se encuentran en un continuo tal que la maximización de su propia utilidad es inversamente proporcional a la de J2. Sin embargo, J2 (quien ha de aceptar o rechazar la oferta) se encuentra en una posición en la que sus propios intereses coinciden con los de J1. Puede ocurrir que J1 muestre un comportamiento irracional (no maximizador) en el sentido de que podría renunciar a (parte de) sus intereses *en favor de los del jugador 2*, mediante cualquier oferta superior a la

⁴⁵⁷ Cfr. Skyrms, 1996, pp. 38 – 39

⁴⁵⁸ Skyrms, 1996, p. 24

⁴⁵⁹ O dicho de otro modo: en ciertas circunstancias pueden ser evolutivamente estables estrategias (EEE) que no constituirían un equilibrio perfecto en subjuegos.

menor porción posible del bien a repartir. El modo en que J2 podría actuar irracionalmente es otro, y responde al esquema que venimos analizando en este epígrafe: J2 puede *castigar* a J1, esto es, renunciar a maximizar su propia utilidad, pero no en favor de los intereses del J1 (altruismo), sino al contrario, para perjudicarlos.

Ya hemos indicado que salvar la racionalidad de una actitud moral como lo es el altruismo, es un objetivo que se puede alcanzar adoptando un enfoque como el de Gauthier, centrado en la racionalidad de las *disposiciones* (como la maximización restringida) más que en la propia racionalidad de acciones aisladas. Pero una conducta que no sólo restringe la maximización de la utilidad propia, sino que además reduce la utilidad ajena, tiene un atractivo moral muy inferior, de modo que parece absurdo buscar qué pueda tener de racional una acción semejante. No obstante, un marco evolutivo podrá justificar no sólo por qué se encuentra entre nuestras intuiciones morales la necesidad de *castigar* ciertas conductas, sino además por qué en determinadas circunstancias es racional adoptar este otro tipo de cumplimiento (*commitment*). O manteniéndonos en el nivel al que Gauthier aplica el concepto de racionalidad, por qué deberíamos adoptar disposiciones que se comprometan genuinamente a rechazar la impunidad.

4.5.3 Diseñando agentes modularmente racionales

Por tanto, para implementar en una simulación este test de la racionalidad modular necesitamos diseñar nuestros agentes artificiales de manera que puedan: a) diferenciar estos dos tipos de situaciones, b) ser capaces de dar en ambas circunstancias —pero independientemente unas de otras— tanto respuestas racionales como irracionales. En el epígrafe anterior había anticipado la necesidad de contar con una “función de cooperación” y otra “función de coordinación”. Estas dos funciones representan la dependencia entre ciertos “estímulos” (*input*) que un agente artificial “percibe”, por un lado, y la “respuesta” (*output*) que da con sus decisiones, por otro. Estas respuestas, finalmente, pueden ser más o menos consideradas hacia los intereses ajenos.

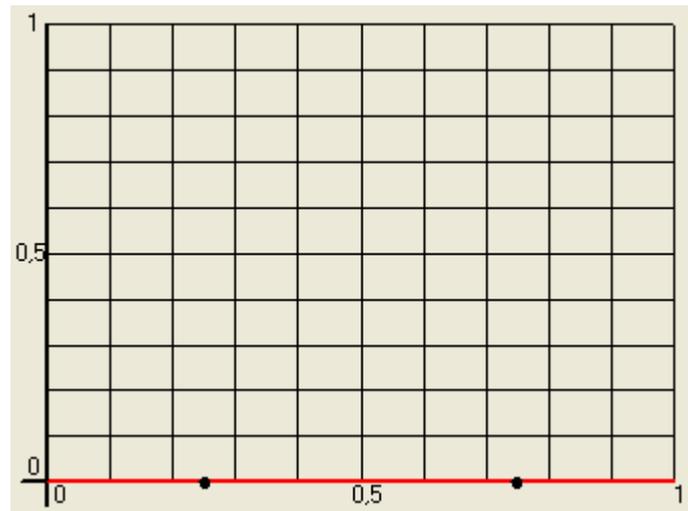
Se trata ahora de mostrar por qué son necesarias dos funciones diferentes, sin que ninguna pueda reducirse a la otra. Es importante recordar que la idea *no es programar* agentes que sean modularmente racionales, ni tampoco buscar que *no* lo sean. El objetivo es evitar cualquier suposición relativa a la racionalidad, ya sea a favor o en contra, dejando abierta la *posibilidad* de que los agentes puedan llegar a ser (o no) modularmente racionales.

Antes de proceder con ejemplos concretos es conveniente, para simplificar la exposición, comenzar con algunas definiciones. Llamaré situación o juego de *coordinación* (y en consecuencia, función de coordinación) aquellas en las que los intereses de los jugadores *coinciden*. Y un juego de *cooperación* (con su correspondiente función) será aquella situación en

la que los intereses de los jugadores *no coinciden*. En este sentido, debo reiterar que estos términos no se corresponden con la distinción tradicional entre “juegos cooperativos” y “juegos no cooperativos”. Si a pesar de esta posible confusión, que espero haber aclarado, empleo estos términos, es porque responden a otra distinción también habitual en teoría de juegos, referente a situaciones en las que basta coordinar las acciones de los jugadores para que todos obtengan resultados óptimos. Por el contrario, la idea de “cooperación” implica en estos casos que una renuncia a la maximización total —y por tanto cierta solución moral— es necesaria para que todas las partes maximicen parcialmente sus utilidades.

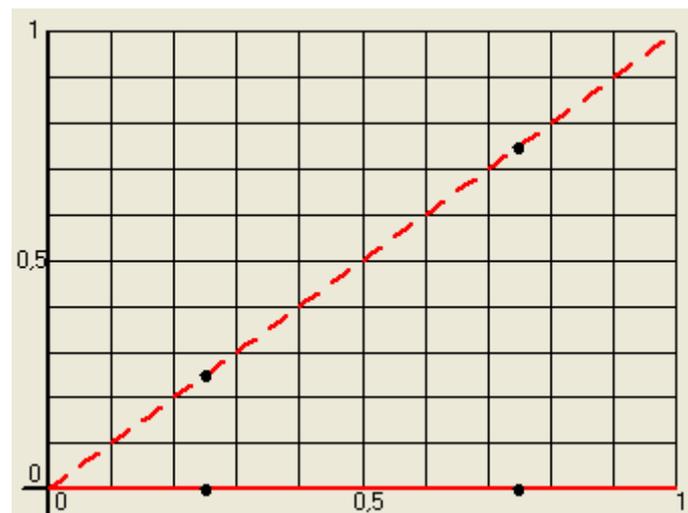
El motivo fundamental para esta distinción es que debe ser posible representar las conductas de castigo. En juegos como el DP iterados, se habla a menudo de “castigo” cuando un agente no coopera en la jugada t , como consecuencia de acciones no cooperativas previas por parte del otro jugador en $t - n$. El elemento esencial del castigo, esto es, *el coste que tiene para quien lo ejerce*, queda así diluido al diferirse dicho coste a próximas jugadas $t + n$. Y aun así, podría ocurrir que el otro jugador siguiese cooperando, con lo cual no sufriríamos ninguna pérdida. Por lo tanto, el componente irracional (no maximizador) del castigo tiene que poder manifestarse en la propia jugada (t) en que es ejecutado. Así, en juegos como el DP no es posible castigar en sentido estricto, porque cualquier disminución en la utilidad del otro redundará en la maximización de nuestra utilidad. En definitiva, se trata de dar cabida a estrategias que *no* respeten el criterio de la racionalidad modular. Ciertamente podríamos representar con una sola función un cierto tipo de agente que pudiese reconocer cuál es su interés tanto en situaciones de cooperación como de coordinación. Por ejemplo, podríamos estipular en el programa que una respuesta $y = 0$ representase siempre la maximización de la utilidad propia, independientemente de si la situación es de cooperación o de coordinación. El algoritmo podría reconocer por la estructura de los pagos cuál es su opción maximizadora, y si ésta es $y = 0$, escogerla siempre. Sería un maximizador directo, completamente indiferente a las conductas observadas en los otros agentes, que en *Bichos* queda representado como $f(x) = 0$, tal como podemos ver en la siguiente figura (línea roja):

Figura 12



Pero podría ocurrir que en aquellas situaciones de coordinación, donde sí es posible castigar, decidiese correr con ciertos costes, para *minimizar* la utilidad del otro jugador, en función del grado de cooperación que ha observado en jugadas anteriores, es decir, $f(x) = y^{460}$. Y ello, a la vez, sin dejar de ser un maximizador directo en las situaciones de cooperación (donde no es posible castigar). Si indicamos en el eje x el grado de cooperación observado en el otro (0 = mínimo, 1 = máximo), una estrategia así podría representarse del siguiente modo, con la función de cooperación representada en línea continua, y la función de coordinación en línea discontinua.

Figura 13



⁴⁶⁰ En el apéndice A (epígrafes 4 – 5) se encuentra la explicación precisa de cómo x puede representar el grado de cooperación observado en otro jugador a lo largo de interacciones previas. (El argumento x puede asimismo expresar el grado de equidad exhibido por un agente, o una combinación de ambos factores, cooperación y equidad, en proporciones diversas, según los “intereses” de la estrategia que evalúa estos índices).

Se trata, pues, de dos criterios diferentes la ahora de considerar las consecuencias de la acción, no sólo desde el punto de vista de la utilidad propia, sino también de la ajena. Lo que tienen en común ambas funciones, y que permite que sean representadas en el mismo sistema de coordenadas, es el estar referidas al interés *del otro jugador*. En las situaciones de cooperación, la conducta maximizadora no es tal porque la estrategia maximice la utilidad propia, sino porque *minimiza la ajena*. Esto tiene como efecto necesario el maximizar la utilidad propia, pues se trata de juegos donde hay un conflicto de intereses. En cualquier caso, no hay intencionalidad alguna —un propósito “sádico”, digamos así— programada en el algoritmo, y a efectos de lo que observa el usuario, del mismo modo puede interpretarse como que, en efecto, la estrategia procura maximizar *su propia utilidad*. A la inversa, cuando en las situaciones de coordinación la estrategia maximiza la utilidad ajena, está con ello maximizando la propia. Que esto haya de interpretarse como altruismo o interés propio queda indeterminado para el usuario, lo cual tampoco tiene que ser motivo de sorpresa o incomodidad, si pensamos que tampoco al observar conductas humanas de este tipo podemos saber si las intenciones que realmente las mueven han sido egoístas o altruistas.

Somos seres lo suficientemente racionales, calculadores, maximizadores, como para tener nuestras intenciones y percatarnos de las intenciones ajenas. Y dadas estas capacidades y circunstancias, la existencia en nuestras vidas de amenazas, promesas y castigos es fácilmente explicable. Sin embargo, cabe preguntarse de dónde proviene evolutivamente este tipo de comportamientos. En seres carentes de conciencia, las ventajas adaptativas de las conductas de castigo, aunque no superen el test de la racionalidad modular, pueden todavía explicarse en términos de rendimiento adaptativo, tal como queda de manifiesto en los análisis de Skyrms. Los modelos basados en agentes permiten precisamente estudiar cuáles son los mecanismos y las circunstancias que propician una ventaja adaptativa a conductas que por sí mismas no son maximizadoras.

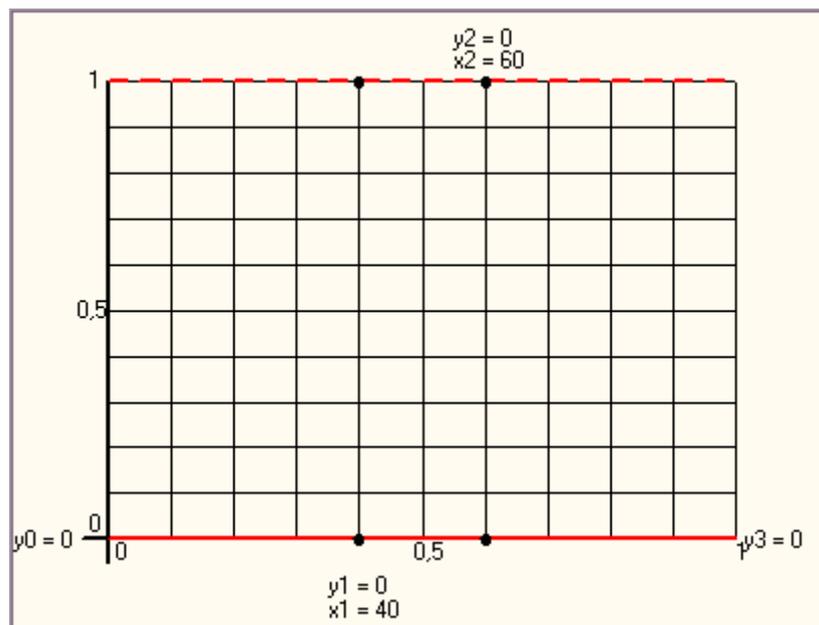
4.5.4 Resultados en las simulaciones de Skyrms, y concordancia en su reproducción con *Bichos*

Pese al riesgo de resultar redundante, conviene volver a explicar brevemente, ahora con el juego del Ultimátum como ejemplo a la vista, la razón de que las funciones lleven estos nombres. En el juego del Ultimátum, cuando un agente está en posición de hacer una oferta (J1), sus intereses son inversamente proporcionales a los intereses de J2. Se requiere de J1, pues, que coopere. Sin embargo, una vez recibida la oferta, los intereses de J2 coinciden con los de J1: si el juego fuese simultáneo (es decir, si no fuese el caso que uno de los jugadores hace *primero* una oferta) a J2 le bastaría suponer la racionalidad de J1 para escoger coordinadamente la opción que

le llevaría a su mejor resultado posible (aunque el pago obtenido sea caso y muy poco equitativo). Si volvemos por un momento a la tabla 20 (*supra* 4.5.1) podemos establecer la siguiente convención, representada allí con números entre corchetes: la acción de J1 ofreciendo el 90% queda etiquetada con el valor 1 (pues es la que maximiza la utilidad ajena), mientras que ofrecer el 10% se valora como 0. Para J2, la aceptación de la oferta queda valorada como 1 (nuevamente por maximizar la utilidad ajena, aunque en este caso coincide con la maximización de la utilidad propia), y rechazar la oferta equivale a 0. Al igual que en la figura 13 (*supra* 4.5.3) la función de cooperación la representamos gráficamente con una línea continua, y la función de coordinación con una línea discontinua.

Tomemos el primero de los 8 jugadores presentes en el escenario de Skyrms. Llamado “Gamesman”, representa el tipo de conducta que sería plenamente racional: ofrecer tan poco como sea posible, y aceptar cualquier oferta.

Figura 14



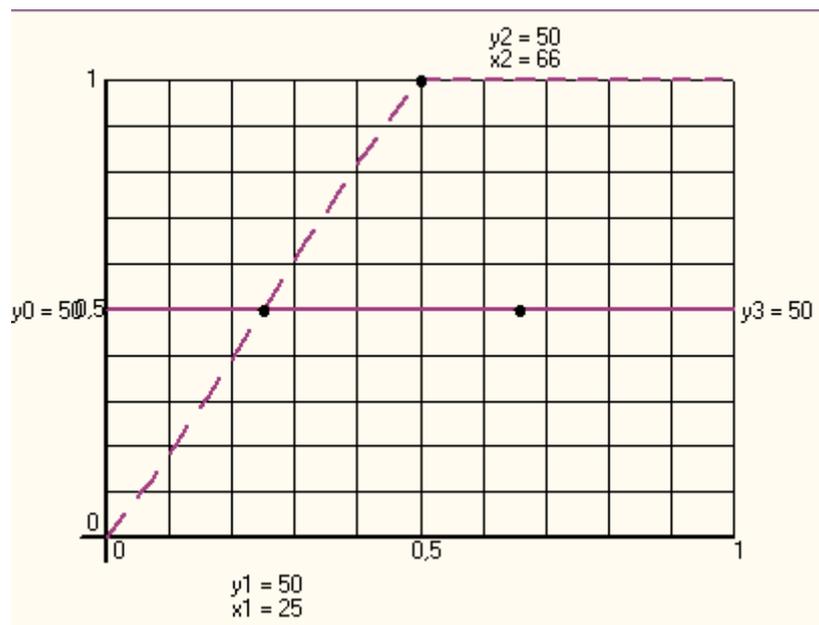
En el eje x (argumento de las funciones) se indican los valores resultantes de las observaciones que el algoritmo ha hecho de las conductas ajenas⁴⁶¹. En este juego, J2 tomaría como referencia el índice de cooperación exhibido en la oferta de J1, y éste, por tener que tomar una decisión primero tendría que recurrir en principio a su “memoria” de interacciones pasadas. Sin embargo, vemos que ambas funciones toman para Gamesman la forma de líneas paralelas al eje x . Puesto que en el eje y se representa la respuesta que dará el algoritmo para un cierto valor de x , vemos que, independientemente de qué valor tome x , la respuesta y será siempre la misma: 0 si toca ofrecer (línea continua) y 1 si hay que aceptar o rechazar (línea discontinua). De esta

⁴⁶¹ Cfr. apéndice A, epígrafes 4 – 5.

manera queda programada esta disposición del jugador *racional*: cooperar 0 implica ofrecer la menor porción posible, y escoger 1 en el papel de jugador B significa aceptar plenamente la oferta (maximizando así tanto la utilidad ajena como la propia). Digo “plenamente” porque en *Bichos* es posible convertir Ultimátum en un juego *continuo*⁴⁶², de manera que los agentes artificiales serían capaces de aceptar *más* o *menos*, pero ahora no me ocuparé de esta característica, ya que Skyrms no las considera en su modelo⁴⁶³.

A este tipo de estrategias que siempre ofrecen una misma respuesta con independencia de lo que hace o ha hecho el agente con quien interactúan, las denominaré “insensibles”, por seguir la terminología de Danielson, quien llama “sensibles” (*responsive*) a aquellas que sí varían su respuesta en función de las acciones ajenas. Vamos ahora a ver una estrategia que sí es sensible, y que Skyrms bautiza “Fairman”. Corresponde al jugador *justo* —o *irracional*, según la teoría de la elección racional—. Ofrece siempre la mitad, si desempeña el papel de jugador 1; y si es jugador 2, acepta ofertas equitativas, pero rechaza ofertas “maximizadoras”.

Figura 15



Este comportamiento se deja interpretar en la representación gráfica observando que la línea continua (función de cooperación) se mantiene constante en $y = 0.5$, esto es, que decidiendo como jugador 1, ofrece siempre la mitad. Sin embargo, si miramos la línea discontinua (función de coordinación) vemos que esta estrategia sí es sensible: cuando recibe ofertas menores que $x = 0.5$ tiende a rechazarlas proporcionalmente. Es importante notar que un valor de $x = 0$ no

⁴⁶² Cfr. *supra* 4.3.1

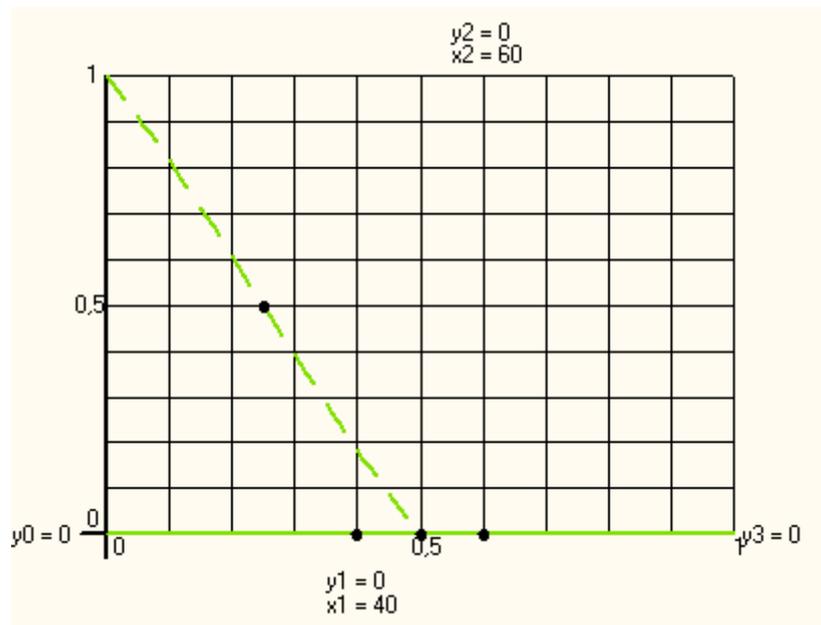
⁴⁶³ Para ver y modificar cualquiera de estas estrategias en el programa, véase las instrucciones en el apéndice A, epígrafe 2.

significa necesariamente que haya recibido una oferta del estilo “0 para ti, 100 para mí”. Lo que $x = 0$ representa es hacer la menor oferta posible, *entre las definidas en el juego*. Por ejemplo, si atendemos a la tabla 20 (*supra* 4.5.1), allí $x = 0$ corresponde a ofrecer el 10%. Pero por lo demás se podría estipular cualquier otro valor mínimo para $x = 0$ (incluso 0, o también más del 50%).

Dado que en el entorno de Skyrms los agentes sólo pueden ofrecer o bien la mitad, o bien la mínima porción posible, los valores que podrá tomar x serán sólo dos: 0 o 0,5. Y vemos como la función de coordinación proporciona una respuesta $y = 0$ (rechazo total) cuando $x = 0$, pero $y = 1$ (aceptación total de la oferta), cuando $x = 0.5$.

Otra estrategia interesante considerada por Skyrms, y que también podemos reproducir en la simulación, es la llamada “Mad Dog”.

Figura 16



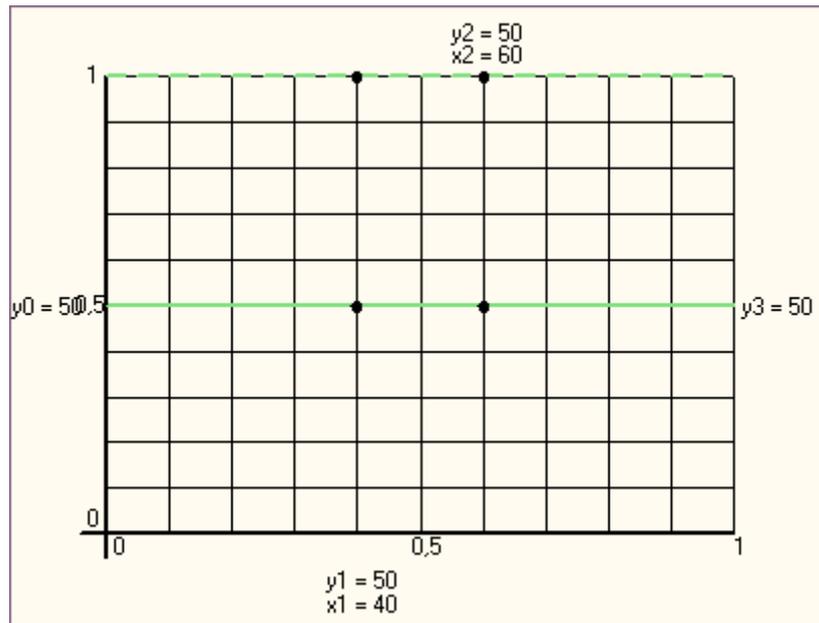
Atendiendo nuevamente a las dos funciones que definen el algoritmo, vemos que esta estrategia presenta un comportamiento extraño. Ofrece siempre lo menos posible (línea continua $y = 0$); en este sentido, pues, es racional. Pero si tiene que aceptar o rechazar una oferta, podemos decir que muestra un criterio un tanto “masoquista”: acepta ofertas mínimas (racional), pero rechaza ofertas justas (irracional).

Por absurda que parezca esta estrategia, su inclusión en el experimento responde por parte de Skyrms a lo que nos hemos propuesto en esta investigación: contar con todas las posibilidades, sin descartar aquellas que *a nosotros* nos parezcan irracionales o inmorales. El marco propuesto por Skyrms es desde luego algo reducido, pero dentro de sus límites no deja fuera ninguna variante. Es este tipo de enfoque el que precisamente le faltaba a los primeros

ensayos de Axelrod y al de Danielson en *Artificial Morality*. En otros trabajos más recientes, especialmente “Competition among cooperators” (2002), Danielson rectifica estos sesgos e introduce también en sus simulaciones una *variedad sistemática* de estrategias —podemos llamar así a lo que considero debe buscarse con estas simulaciones.

La estrategia “Easy Rider” responde un poco a lo que quizá consideraríamos un cierto equilibrio entre racionalidad y moralidad⁴⁶⁴:

Figura 17



Es justa en sus pretensiones ($y = 0.5$) pero a la hora enfrentarse a una oferta, las acepta siempre, es decir, que tampoco tiene una disposición a castigar las inclinaciones “injustas” de los demás, anteponiendo a ello su propio interés (recordemos que aceptar cualquier oferta, por pequeña que sea, es siempre mejor que perderlo todo rechazándola).

Las otras 4 estrategias de las 8 que componen el abanico contemplado en el modelo de Skyrms representan conductas que nuestro sentido común consideraría irracionales y/o inmorales. No me ocuparé de ellas en detalle, pues con los ejemplos previos, y recordando las combinaciones especificadas más arriba (4.5.1), no debe resultar difícil entender cómo operan, pudiéndose diseñar igualmente con las dos funciones de que constan los algoritmos en *Bichos*.

⁴⁶⁴ ¿Acaso la conducta cotidiana del sentido común?

Así pues, tenemos las 8 estrategias propuestas por Skyrms. Ahora hemos de ponerlas en el “mundo” y ver si el proceso evolutivo selecciona el mismo tipo de equilibrios que obtiene Skyrms en sus simulaciones. Skyrms parte de dos distribuciones iniciales diferentes para las diversas estrategias en el conjunto de la población. En el primer ensayo, el 30% de la población original son jugadores Fairman, y el resto de los otros jugadores se distribuye 10% cada uno. En el segundo caso la distribución al comenzar es la siguiente:

Tabla 21

S1	Gamesman	32%
S2		2%
S3		10%
S4	Mad Dog	2%
S5	Easy Rider	10%
S6		2%
S7	Fairman	40%
S8		2%

Curiosamente, Skyrms considera que esta segunda distribución es “más plausible”⁴⁶⁵. En realidad, la distribución más plausible, partiendo de un caos inicial, sería aquella en la que cada una de las 8 estrategias comienza ocupando aproximadamente un 12,5 % de la población.

Para el primer escenario, Skyrms predice que tras unas pocas generaciones la población tiende a fijarse con un 64% Fairmen y 36% Easy Riders, mientras que en segundo experimento se asienta en una distribución de 56.5% Fairmen y 43.5% Easy Riders.

Los resultados con mi simulación, aunque no idénticos, sí son significativamente similares, ante todo porque las condiciones iniciales han sido exactamente las mismas: los emparejamientos de los jugadores eran aleatorios (no había relación de vecindad, que en juegos como el DP facilita las respuestas altruistas) y se utilizó la regla de transición Replicator dynamics⁴⁶⁶.

En mi simulación, al igual que en la de Skyrms, al cabo de poco tiempo las poblaciones quedan compuestas únicamente por agentes Fairman y Easy Rider. No obstante, las proporciones son algo diferentes, favoreciendo algo más a los jugadores Fairman en mi modelo. Para ambos casos (las dos configuraciones iniciales propuestas por Skyrms) la simulación fue ejecutada 10 veces, con resultados muy similares. En la tabla se indica el porcentaje de Fairmen ocupando el mundo en el momento de estabilizarse una población compuesta de 1000 individuos.

⁴⁶⁵ *Cfr.* Skyrms, 1996, p. 31

⁴⁶⁶ Conviene recordar que con esta regla la distribución relativa de las estrategias en la población es estrictamente proporcional al éxito adaptativo global que obtuvo dicha estrategia en la generación previa (*cfr. supra* 3.3.1). En los experimentos que habíamos realizado con el DP tuvimos ocasión de constatar que Replicator dynamics dificultaba mucho más la evolución de estrategias morales, pues a diferencia de las reglas MaxiMax y Utilidad esperada no elimina rápidamente ciertas estrategias que han obtenido rendimientos relativamente pobres.

Tabla 22

Escenario 1 Ultimatum_Skyrms_30.dpt ⁴⁶⁷	Escenario 2 Ultimatum_Skyrms_40.dpt
88	76
84	76
48	84
60	84
80	72
88	88
64	64
84	90
76	72
44	88
Promedio <i>Bichos</i> : 71,6 %	Promedio <i>Bichos</i> : 79,4 %
Promedio Skyrms: 64 %	Promedio Skyrms: 56,5 %

El hecho de que *Bichos* arroje resultados aún algo más satisfactorios para los Fairmen puede deberse a que la dinámica evolutiva no es completamente determinista, sino que se ve influenciada por pequeñas perturbaciones aleatorias en tres aspectos.

- 1) El que un individuo desempeñe en una determinada interacción el papel de J1 o J2 se decide con probabilidad 1/2. Este factor es sin duda el menos influyente a la hora de intentar buscar causas de las leves divergencias entre las dos simulaciones, pues Skyrms también cuenta con él⁴⁶⁸.
- 2) Tal como habíamos analizado en 3.3.3, la implementación de Replicator dynamics en *Bichos* recurre a un procedimiento de loterías, motivado por el carácter finito de la población y, más especialmente, la distribución de los jugadores en vecindarios.
- 3) Esta reducción de los encuentros a un número limitado dentro de la población está también en cualquier caso determinada al azar. En *Bichos* cada agente se enfrenta a otros cuatro individuos en cada generación. Este es el número mínimo de partidas que un jugador puede realizar en una generación. La elección de este mínimo se debe a que, aunque Skyrms no deja claro con cuántos jugadores interactúa cada agente, el modo en que lo expresa parece indicar que se trata de uno solo⁴⁶⁹. *Bichos* cumple este requisito del modelo de Skyrms, esto es, que no haya emparejamientos correlativos (recordemos que las relaciones territoriales son una forma particular de correlación). La diferencia

⁴⁶⁷ Éstos son los nombres de los archivos que contienen estas simulaciones.

⁴⁶⁸ *Cfr.* Skyrms, 1996, p. 30. Otras modelos de este juego, muy notablemente el de Binmore, presentan un mundo donde la mitad de los individuos juegan *siempre* el papel de J1, y la otra mitad son siempre J2 (*cfr.* Gale, Binmore y Samuelson, 1995).

⁴⁶⁹ “We assume that individuals are randomly paired from the population; that the decision as to which individual is to play which role is made at random”. Skyrms, 1996, p. 30

estriba en que el modelo de Skyrms prescinde de estas correlaciones simplemente calculando *a priori* la utilidad esperada de una estrategia, conocidas sus disposiciones tanto en el papel de J1 como J2 y las probabilidades de que se encuentre con los diversos tipos de estrategia.

A falta de una explicación mejor, ésta es la conjetura más probable para dar cuenta de las pequeñas diferencias entre los resultados que obtiene Skyrms y los que se desprenden de mi modelo: la distinción fundamental implicada en estos tres puntos es que en *Bichos* no hay un cálculo puramente analítico de las utilidades esperadas de cada estrategia, sino que se trata de una simulación menos formal, donde las interacciones tienen lugar *realmente* (aunque sea en un mundo virtual). Veamos a continuación una exposición detallada de estas diferencias.

4.5.5 Estudio analítico de los resultados obtenidos en la simulación del juego del Ultimátum

Este apartado está dedicado a un análisis de la dinámica evolutiva del juego del Ultimátum con independencia de los resultados arrojados por las simulaciones. Se trata de calcular *a priori* los ritmos de crecimiento de las diversas estrategias presentes en el modelo de Skyrms, de acuerdo con la ecuación Replicator dynamics. Aunque la exposición no será todo lo condensada y elegante que cabría esperar de un análisis matemático, es en cualquier caso totalmente formal, sin recurrir a la *experiencia* virtual que aportan las simulaciones. Más bien al contrario, este análisis marcará la pauta a la cual tendrá que ajustarse la simulación para poder certificar su validez. Los cálculos están hechos sobre el modelo de Skyrms, más simplificado que el mío, que cuenta con 8 tipos de estrategia. Posteriormente veremos que en *Bichos*, debido a la enorme variedad de estrategias y a la flexibilidad que cada una presenta, un análisis de este tipo se hace virtualmente imposible. Sin embargo, puesto que el modelo de Skyrms concuerda con el análisis, por un lado, y mi simulación coincide con las de Skyrms, por otro, podemos aventurar que el modelo de *Bichos*, con agentes más complejos pero sujetos a la misma dinámica, también es correcto.

En el capítulo 2 de *Evolution of the Social Contract* encontramos una nota al pie que nos remite a la siguiente tabla⁴⁷⁰:

⁴⁷⁰ Skyrms, 1996, p. 115. La tabla de Skyrms no incluye los números entre paréntesis que he incluido en los encabezamientos de cada columna, ni la última columna (UE). Los números entre paréntesis indican la proporción (entre 0 y 1) de cada estrategia presente en la población, y en la última columna escribiremos la utilidad esperada (UE) de cada estrategia al cabo de una generación.

Tabla 23

	S1 (0.32)	S2 (0.02)	S3 (0.10)	S4 (0.02)	S5 (0.10)	S6 (0.02)	S7 (0.40)	S8 (0.02)	$U(S_n)_m$
S1	5	0.5	0.5	5	7	2.5	<u>2.5</u>	7	3.65
S2	4.5	0	0	4.5	4.5	0	0	4.5	2.07
S3	4.5	0	0	4.5	7	2.5	2.5	7	3.42
S4	5	0.5	0.5	5	4.5	0	0	4.5	2.3
S5	3	0.5	3	0.5	5	2.5	5	2.5	3.88
S6	2.5	0	2.5	0	2.5	0	2.5	0	2.3
S7	2.5	0	2.5	0	5	2.5	5	2.5	3.65
S8	3	0.5	3	0.5	2.5	0	2.5	0	2.53

Para comprender el significado de estas cifras, comencemos por la explicación del propio Skyrms:

[...] Because a strategy determines what a player will do in each role, we can now calculate the expected fitness for any of the eight strategies that results from an encounter with any of the eight strategies. The assumption of random pairing from a large population, together with the payoffs being in terms of fitness, leads to the replicator dynamics of evolutionary game theory. You can program your computer to simulate this dynamics and observe how populations with various proportions of these strategies will evolve.⁴⁷¹

En las diversas celdas encontramos el rendimiento esperado que cada estrategia puede obtener jugando contra cada una de las otras estrategias. Rendimiento *esperado* —análogo a la utilidad esperada— porque expresa el promedio de lo que obtendría una determinada estrategia desempeñando tanto el papel de Jugador 1 como el de Jugador 2, supuesto que la probabilidad de estar en una u otra posición es 1/2. Por ejemplo, recordemos que S1 es Gamesman, el agente perfectamente racional, que siempre ofrece 1 si es Jugador 1, y que acepta cualquier oferta cuando es Jugador 2. Por otra parte, S7 es Fairman, quien ofrece 5 si es Jugador 1 y sólo acepta ofertas justas (5) en el papel de Jugador 2. Entonces, si S1 fuese el Jugador 1 y S7 fuese el Jugador 2, ambos obtendrían 0, y si los roles estuviesen invertidos, los dos recibirían 5. El rendimiento medio de S1 jugando contra S7 es, pues, 2.5, y ese es el valor que he subrayado como ejemplo en la tabla 23.⁴⁷²

En lugar de programar un ordenador, lo que haré aquí será desglosar el tipo de cálculo que se lleva a cabo en la simulación de Skyrms. Para ello, recordemos que las proporciones (porcentaje) de las que partía Skyrms eran las siguientes, para cada una de las estrategias S1 – S8: 32, 2, 10, 2, 10, 2, 40, 2. De esta manera, calculamos la utilidad esperada de cada estrategia

⁴⁷¹ Skyrms, 1996, p. 30

⁴⁷² Como ejercicio práctico, o como verificación, el lector puede intentar comprobar de este modo el resto de valores de la tabla.

de acuerdo con la probabilidad (entre paréntesis en la primera fila de cada columna) de que le toque interactuar con alguno de los ocho tipos estrategia, incluida ella misma. El procedimiento es por tanto el mismo que en cualquier cálculo bayesiano de utilidad esperada cuando se trata de tomar decisiones en condiciones de incertidumbre:

$$U(S_n) = \sum_{n=1}^i p_n \cdot U(x_n)$$

- Tenemos $i = 8$ posibles acontecimientos excluyentes: jugar contra un individuo que emplee la estrategia $n = 1, n = 2, \dots, \text{ o } n = 8$.
- La probabilidad de que ocurra alguno de los i acontecimientos viene indicada por p_n .

Lógicamente, por tratarse de acontecimientos excluyentes, se cumple que $\sum_{n=1}^i p_n = 1$.

- El rendimiento medio de una cierta estrategia al enfrentarse a alguna de las 8 está denotada por $U(x_n)$. Según lo habíamos precisado, se trata del promedio resultante del rendimiento obtenido en ambos papeles: Jugador 1 y Jugador 2.

Así pues, $U(S_n)_m$ es la utilidad o rendimiento adaptativo *esperado* para un individuo que emplee una cierta estrategia S_n ($n = 1 \dots n = 8$) en cierta generación m , dadas las distribuciones iniciales indicadas en los encabezamientos de cada columna.

Si llevamos a cabo las oportunas sustituciones y tenemos la paciencia de realizar los cálculos, se obtienen los valores que he escrito en la columna más a la derecha de la tabla 23, bajo el encabezamiento $U(S_n)_m$. Éste sería el rendimiento promedio de cada estrategia, que Skyrms denota como $U(S1)$, $U(S2)$, etc.⁴⁷³ He agregado el subíndice m para indicar la generación que estamos considerando (siendo $m - 1$ la generación previa).

Sin embargo *no podemos calcular el rendimiento medio de la población* haciendo, a su vez, la media de los valores $U(S1)_m \dots U(S8)_m$. En nuestro caso concreto, si realizamos esta operación, obtenemos $U_{m-1} = 2,96$. Y si a continuación calculamos las proporciones de cada estrategia en la próxima generación $N(S_n)_m$ en función de la generación previa $N(S_n)_{m-1}$ según la

fórmula $N(S_n)_m = N(S_n)_{m-1} \frac{U(S_n)_{m-1}}{U_{m-1}}$, resulta que el tamaño de la población *aumenta* en lugar

de mantenerse constante (en nuestro ejemplo, el reparto de estrategias en la población suma 118% en el paso de la primera a la segunda generación). En principio esto no debería ser un problema, si las proporciones se mantienen acordes con el éxito de cada estrategia, pero lo cierto es que Skyrms no menciona este punto. La ecuación Replicator dynamics fue elaborada para

⁴⁷³ Cfr. Skyrms, 1996, p. 52

poblaciones en principio infinitas. Así, para que el tamaño de la población se mantenga constante (población infinita), hay que calcular el rendimiento medio de la población, U_m , sumando los diversos productos resultantes de multiplicar $U(S_n)_m$ por la porción de población que la correspondiente estrategia tiene en una generación dada, $N(S_n)_m$. Es decir:

$$U_m = \frac{\sum_{n=1}^{n=8} U(S_n)_m \cdot N(S_n)_m}{8}$$

Veamos esto más claramente tomando los valores de la tabla:

Tabla 24

Estrategia	$U(S_n)_m$	$N(S_n)_m$	$U(S_n)_m \cdot N(S_n)_m$
S1	3.65	0.32	1,168
S2	2.07	0.02	0,041
S3	3.42	0.1	0,342
S4	2.3	0.02	0,046
S5	3.88	0.1	0,388
S6	2.3	0.02	0,046
S7	3.65	0.4	1,46
S8	2.53	0.02	0,051
			Total = 3,542

El valor de U_m que necesitamos para que Replicator dynamics mantenga constante el tamaño de la población es 3,542 y no 2,96. De esta manera se expresan correctamente las proporciones entre el rendimiento medio *de cada estrategia* y el rendimiento *total* de la población.

Hecho este apunte importante, ahora sí calculamos la nueva distribución de las estrategias siguiendo la pauta marcada por Replicator dynamics, en función de la proporción que tenía cada estrategia en la generación anterior y su rendimiento relativo en relación con el rendimiento de la población total. La nueva distribución (cifras entre paréntesis) y la utilidad esperada de cada estrategia (columna derecha) en esta nueva generación, quedan reflejadas en esta nueva tabla:

Tabla 25

	S1 (0.329)	S2 (0.011)	S3 (0.096)	S4 (0.015)	S5 (0.109)	S6 (0.012)	S7 (0.412)	S8 (0.014)	$U(S_n)_m$
S1	5	0.5	0.5	5	7	2.5	2.5	7	3.694
S2	4.5	0	0	4.5	4.5	0	0	4.5	2.101
S3	4.5	0	0	4.5	7	2.5	2.5	7	3.469
S4	5	0.5	0.5	5	4.5	0	0	4.5	2.327
S5	3	0.5	3	0.5	5	2.5	5	2.5	3.958
S6	2.5	0	2.5	0	2.5	0	2.5	0	2.365
S7	2.5	0	2.5	0	5	2.5	5	2.5	3.732
S8	3	0.5	3	0.5	2.5	0	2.5	0	2.59

En la hoja de Excel incluida en el CD (**Ultimatum_Replicator dynamics.xls**) presento la totalidad de las tablas necesarias (46) para calcular paso a paso las variaciones de una generación a otra, hasta alcanzar una población compuesta por dos estrategias evolutivamente estables. Además de no invadir este texto con tablas, la hoja de cálculo garantiza que las operaciones estén correctamente realizadas. Al cabo de 46 generaciones puede verse que, en efecto, el equilibrio consiste en un 63% de la población usando la estrategia S7 (Fairman) y un 37% de la población que emplea la estrategia S5 (Easy Rider).

Lo importante en este punto es que los resultados que acabo de exponer no proceden de una simulación, sino de un puro cálculo (largo y farragoso, pero cálculo al fin y al cabo). Skyrms propone programar el ordenador para simular esta dinámica. Desconozco cómo está construida exactamente la simulación de Skyrms para este caso concreto, pero si se trata de escribir un algoritmo que realice las sucesivas operaciones que he presentado en la hoja de Excel, desde luego ese sería el modo más económico y elegante de hacerlo. Sin embargo, me atrevería a decir que este procedimiento no es propiamente una simulación, sino simplemente aplicar una fórmula repetidas veces (o quizá podría verse la hoja de Excel también como una simulación). Lo que quiero destacar es que *Bichos* (cuyos resultados para este juego se encuentran en la tabla 22 del epígrafe anterior) *no hace este tipo de cálculos*. Es decir, no aplica la ecuación Replicator dynamics sobre el rendimiento esperado de cada estrategia, contando con la frecuencia relativa de cada una en la población. Frente a este procedimiento estocástico, mi simulación podría considerarse realmente un experimento virtual, y por tanto con carácter *a posteriori*, en la medida en que las interacciones entre agentes suceden *realmente*, y no como una aproximación estadística. No hay un cálculo, sino una serie de fases en las que diversos agentes artificiales “actúan” tomando decisiones concretas, de las cuales resultan ciertos rendimientos adaptativos. Por carecer del formalismo matemático propio de una demostración, quedaría mejor caracterizado como un ejercicio de fuerza bruta. Pero es esto precisamente lo que pretende ser, y lo que le confiere su condición experimental, aunque el laboratorio sea virtual. Una vez más, lo apropiado del modelo queda confirmado, precisamente, por el hecho de que estos resultados, “empíricamente” verificables en la simulación, coinciden con lo que puede calcularse sobre el papel aplicando la ecuación Replicator dynamics.

4.5.6 Un escenario evolutivo alternativo para explicar la estabilidad de disposiciones equitativas.

Hasta el momento hemos visto las condiciones, muy especialmente la distribución inicial de las diferentes estrategias, que permiten a las estrategias anómalas (equitativas) ser evolutivamente estables. Pero si nos apartamos de dichas condiciones el equilibrio al que se llega consiste en una población dominada enteramente por el tipo de jugador racional, maximizador de su utilidad: ofrece siempre 1, y si le toca el papel de quien ha de aceptar o rechazar la oferta, acepta cualquier propuesta, por exigua que sea. Resulta de ello un equilibrio en el que cada jugador, por término medio, recibe 5 puntos, pues aproximadamente la mitad de las veces le tocará ser Jugador 1, y la otra mitad ser Jugador 2. En último término, pues, considerando el juego del Ultimátum, una población de maximizadores directos obtiene el mismo rendimiento que otra compuesta por estrategias más equitativas. Sin embargo, queda por explicar por qué los sujetos reales tienen disposiciones equitativas, tal como muestra la evidencia experimental. La cuestión es aun más intrigante de lo que Skyrms da a entender, porque partiendo de poblaciones donde todas las estrategias están distribuidas en proporciones semejantes, Replicator dynamics conduce al equilibrio *racional* (no equitativo)⁴⁷⁴.

Lo que propondré ahora es otro marco evolutivo, mucho más flexible, bien que con tres condiciones adicionales —no contempladas por Skyrms— bajo los cuales pueden haber evolucionado las estrategias justas por encima de las racionales. El objetivo es proporcionar un modelo evolutivo en el que se alcancen equilibrios equitativos (como los observados en sujetos reales) sin tener que dar una ventaja inicial a estas estrategias anómalas. A continuación enumero las características de esta otra simulación en *Bichos*.⁴⁷⁵

- Las estrategias que inicialmente pueden estar presentes en el mundo son virtualmente ilimitadas, dados todos los valores diferentes que pueden tomar los 32 parámetros o “genes” que definen una estrategia. Lo que puede hacer una estrategia en el juego del Ultimátum vendrá dado por la curva de cooperación cuando el agente tiene que ofrecer,

⁴⁷⁴ En este sentido, no puedo compartir la afirmación de Skyrms expresada en el resumen final: “In Chapter 2, we saw the tension possible between commitment and *modular rationality*. Here the theory of rational choice and the theory of evolution begin to diverge. When we apply the replicator dynamics to the symmetrized ultimatum game, we find it does not eliminate strategies which fail the test of modular rationality” (Skyrms, 1996, p. 105). Sin embargo, el fenómeno sólo ocurre con distribuciones iniciales favorables a estas estrategias equitativas. Por lo demás, la dinámica evolutiva y la teoría de la elección racional sí coinciden.

⁴⁷⁵ Se pueden comparar estas condiciones con las de la simulación de Skyrms, enumeradas más arriba (4.5.1).

y por la curva de coordinación cuando tiene que aceptar o rechazar. Además, la respuesta concreta que una estrategia seleccione entre el continuo disponible en sus curvas de cooperación y coordinación, *puede* ser función de los comportamientos *previos* del agente con quien se interactúa, y no sólo de la jugada presente.⁴⁷⁶

- Dado el carácter continuo del abanico de opciones que cada estrategia puede escoger en *Bichos*, las ofertas pueden variar entre 1 y 9 (pasando por todos los puntos intermedios) y, lo que creo es más novedoso, el aceptar o el rechazar son sólo los casos extremos de otras posibilidades intermedias: ahora se puede aceptar “más o menos”, por decir así. Los resultados en los pagos serán proporcionales a los diferentes grados en los movimientos, aplicando el mismo tipo de cálculo que se vio para el caso del DP continuo⁴⁷⁷.
- Hay mutaciones. Las estrategias pueden mutar con pequeñas variaciones, o modificando en bloque todos sus parámetros (según lo escoja el usuario). Las estrategias resultantes pueden ser completamente nuevas, diferentes de cualquier otra presente en el mundo en un momento dado. En estos experimentos sólo nos ocuparemos de la reproducción asexual (imitación).
- Las proporciones iniciales según las que se distribuyen las estrategias están uniformemente distribuidas al azar. No hay tipos de estrategia más probables que otras en la configuración de inicio. No importa cuán racionales o disparatadas sean, todas las formas posibles son al principio igualmente viables.
- Las estrategias anómalas (justas) pueden subsistir no sólo si se juega con la regla de selección proporcional sugerida por Skyrms⁴⁷⁸, sino también bajo las dinámicas que resultan de las reglas MaxiMax y Utilidad esperada.

Paso ahora a los nuevos supuestos que he introducido en el entorno. Bajo estas condiciones mucho más flexibles también se puede encontrar un modelo evolutivo que explica la supervivencia de estrategias cuyas conductas no se ajustan a las predicciones de la teoría de la elección racional.

⁴⁷⁶ Evidentemente, también las ocho estrategias (S1 – S8) vistas anteriormente pueden estar —aunque muy improbablemente en esas formas tan idealizadas— en el conjunto inicial del mundo.

⁴⁷⁷ *Cfr. supra* 4.3.1.

⁴⁷⁸ Sin embargo, con Replicator dynamics es más difícil para las estrategias anómalas convertirse en EEE (sólo alrededor del 20% de los experimentos).

- En lo que respecta a la distribución espacial de los agentes, es necesario que los vecindarios contengan individuos *fijos* y no distribuidos al azar de una generación a otra. En este sentido las simulaciones de Skyrms son más exigentes, pero también menos realistas.
- Se necesitan al menos dos iteraciones en cada generación. También aquí *Bichos* relaja las condiciones de la simulación de Skyrms. Pese a ello, esta característica supone un sesgo mucho más débil que las distribuciones iniciales que favorecen a las estrategias cooperativas. Y una vez más, entiendo que esta alternativa es también más realista: la necesidad de este mínimo número de iteraciones queda suficientemente justificado si pensamos que la gran variedad de estrategias que *Bichos* puede generar, *sin favorecer predeterminadamente a ninguna clase de las mismas*, tienen su pleno sentido y funcionalidad en un mundo translúcido. En un ambiente así, donde los jugadores no son transparentes como los de Danielson, pero tampoco tan estereotipados y mecánicos como los de Skyrms, la translucidez sólo es posible mediante un juego de reputaciones, tal como habíamos defendido en la sección 3.5. Ciertamente, por tratarse de un juego extendido (sucesivo) el Jugador 2 no necesita anticipar la disposición del Jugador 1, pues ésta se manifiesta directamente en la oferta que realiza. Pero el Jugador 1 sí requiere hacerse una idea, siquiera inductivamente, del tipo de disposición presente en el Jugador 2, pues sólo así podrá hacer ofertas más o menos equitativas de manera significativa, esto es, intentando aprovechar al máximo la posible respuesta del Jugador 2. Sin embargo, la razón fundamental para ampliar el número de iteraciones por generación se encuentra en el siguiente punto, que representa la auténtica novedad del escenario evolutivo que propongo para esta simulación.
- Tras cada jugada (es decir, *a lo largo* de una generación) es preciso que el agente obtenga en *esa* jugada un pago mínimo (x), sin el cual “muere”. De este modo, ese agente ya no estará presente para interactuar con nadie en lo que queda de generación. Todos, incluso quien le ha explotado, se pierden su participación.

El rasgo a destacar en este marco evolutivo es precisamente la importancia de esta participación. Lo que se intenta representar es una situación en la que, para obtener mejores rendimientos se requiere una acción conjunta: aunque en la interacción puntual la matriz de pagos sigue definiendo el juego del Ultimátum, la posible ausencia de interacción supone ya una pérdida. Si hoy consigo un gran beneficio haciendo una oferta miserable a mi vecino, éste ya no

estará mañana, y perderé los beneficios de su interacción (incluyendo el beneficio de explotarle)⁴⁷⁹. Con todo, la estructura del juego no se ve alterada, pues los agentes artificiales *no saben* que habrá próximas interacciones, ni que es preciso obtener al menos x para poder estar presente en la siguiente jugada.

Si se ejecuta reiteradamente el programa incorporando estos nuevos supuestos⁴⁸⁰ se ve que partiendo de casi cualquier distribución aleatoria, las estrategias evolutivamente estables son aquellas que hacen ofertas iguales o mayores que x . Aunque también se dan, no son tan estables las estrategias que además rechazan ofertas poco equitativas. Más en concreto, los resultados obtenidos con 100 simulaciones fueron los siguientes.

Tabla 26

	Nivel medio de las ofertas	Nivel medio de aceptación
Replicator dynamics	28%	98%
MaxiMax	42%	96%
Utilidad esperada	41%	94%

Para obtener los resultados que se observan en la realidad (los que la teoría heredada *no* predice) no es necesario que el valor de x sea tan alto como 5. Por el contrario, esta cantidad es demasiado restrictiva para permitir cualquier tipo de evolución: es muy improbable que en la distribución inicial de estrategias se dé un número suficientemente grande de individuos que usan estrategias equitativas, y el equilibrio evoluciona rápidamente hacia conductas claramente maximizadoras, difíciles de invadir por estrategias justas.

De este modo disponemos de una explicación más directa y plausible de cómo se hacen estables este tipo de estrategias anómalamente justas, a diferencia de otra explicación sugerida por Skyrms, según la cual los agentes generalizarían el juego del Ultimátum —donde las jugadas son sucesivas— como un caso análogo al de Partir la tarta⁴⁸¹. Habíamos visto que en este otro juego los equilibrios equitativos se alcanzan muy fácilmente, debido a que las demandas se efectúan simultáneamente.

Para concluir esta sección quisiera anticiparme a una posible objeción, cuya respuesta valdrá además como puntualización adicional acerca del alcance de estos modelos informáticos y cómo deben interpretarse. Se dirá que modificando el usuario el valor de x a voluntad, finalmente encontrará el resultado que deseaba obtener. Entiendo que esto, lejos de ser un problema, es

⁴⁷⁹ A fin de que esta condición quede adecuadamente representada en la simulación, es preciso que los pagos totales no se calculen como el promedio de los pagos obtenidos en las diversas jugadas, sino que se sumen sin más en su totalidad. Para ello tiene que estar seleccionada la opción **Total Pay offs → Total**.

⁴⁸⁰ Esta simulación se encuentra en el archivo **Ultimatum_Bichos.dpt**.

⁴⁸¹ Skyrms, 1996, p. 28. Skyrms no afirma que ésta sea *la* explicación, sino sólo que sería razonable apelar en este caso al fenómeno de la generalización. Ciertamente, el estudio de procesos evolutivos nos muestra a menudo rasgos de los organismos que son “fossilizaciones” o generalizaciones de funciones que tuvieron su sentido adaptativo en contextos pasados, pero ya no en los actuales.

precisamente lo que hay que hacer. En los experimentos descritos por Skyrms tenemos los datos empíricos, inexplicables mediante la sola teoría de la elección racional (que no cuenta con el componente evolutivo). Estos son *hechos*, ajenos a la simulación, efectos para los cuales buscamos una causa. La simulación es una representación de aquellos hechos, y lo que hacemos alterando las variables en el modelo es intentar reproducir diferentes causas, hasta encontrar aquella que determine el fenómeno que pretendemos explicar.

4.6 Trust Game

Esta sección está dedicada a un juego relativamente poco conocido, pero que igualmente ilustra muy bien cómo una dinámica evolutiva puede conducir a resultados óptimos para un conjunto de individuos envueltos en un conflicto de intereses. Desde el modelo normativo de la teoría de juegos convencional quedarían dichos resultados, sin embargo, fuera del alcance de agentes racionales. Al mismo tiempo, sirve para mostrar el alcance general que puede tener una simulación a la hora de representar aquella dinámica en una multiplicidad de juegos diferentes, pero sin modificar la naturaleza de los agentes artificiales. En este sentido, el Trust Game difiere de los demás juegos vistos hasta el momento en que aquí encontramos dos tipos diferentes de roles (como en el juego del Ultimátum) pero siempre asignados a un conjunto invariable de agentes. Además, el modo en que se relacionan unos individuos con otros también está diferenciado: algunos agentes interactúan entre sí, pero no copian estrategias unos de otros, mientras que otros no interactúan pero sí comparan e imitan sus disposiciones. Pese a todo, los agentes artificiales que intervienen en este juego cuentan con las mismas características y operan con los mismos algoritmos empleados en los otros juegos que hemos analizado hasta aquí, lo cual prueba, a mi entender, la flexibilidad y potencia del modelo.

Trust Game es un juego de suma no cero (esto es, lo que un jugador gana no es necesariamente lo que el otro pierde) y *asimétrico*, lo cual significa que los posibles pagos que cada jugador puede recibir son diferentes, dependiendo del papel que juegue. Tomaré de un artículo de Cristina Bicchieri una primera exposición del juego:

[...] the sender [Jugador 2] moves first and must decide whether or not to “trust” the receiver [Jugador 1] with her endowment of x dollars. If the sender chooses to trust (invest), the size of her endowment is tripled to $3x$, and the receiver must then decide whether to reciprocate, returning $3x/2$ to the sender and keeping $3x/2$ for himself, or to not reciprocate and keep all $3x$ for himself. The action set for the sender [Jugador 2] is to trust or not to trust, $a = \{T, nT\}$, and the action set for the receiver is to reciprocate or not reciprocate, $b = \{R, nR\}$.⁴⁸²

⁴⁸² Bicchieri, Duffy y Tolle, 2004, p. 290

Aunque en esta versión del juego los movimientos son sucesivos —es decir, el Jugador 2 debe tomar *primero* una decisión—, por el momento lo consideraremos como si las opciones se escogiesen simultáneamente.⁴⁸³ Además, modificaré ligeramente los pagos, de modo que la inversión del Jugador 2 se multiplica por 6 en lugar de 3, y la cantidad con la que se queda el Jugador 1 si traiciona la confianza del Jugador 2 es $2/3$ de la inversión total (es decir, 4 en lugar de 6). Pese a estas modificaciones, la estructura del juego es la misma⁴⁸⁴. Podemos representar el juego de manera convencional en la siguiente matriz de pagos:

Tabla 27

		Jugador 2	
		Not trust (nT)	Trust (T)
Jugador 1	Reciprocate (R)	1 ; 1	3 ; 3
	Not reciprocate (nR)	<u>1</u> ; <u>1</u>	4 ; 0

La solución del juego (equilibrio de Nash) se encuentra en la casilla con las cifras subrayadas: el Jugador 2 no invierte, y el Jugador 1 no devuelve la inversión (en realidad, puesto que el Jugador 2 no ha confiado nada al Jugador 1, éste tampoco tiene nada que devolver). El resultado es, pues, que cada uno se queda con 1\$. Puede verse que independientemente de si las jugadas son simultáneas o sucesivas, la estrategia (curso de acción) dominante del Jugador 1 es nR : si el Jugador 2 escoge nT , el resultado para el Jugador 1 es el mismo, pero si el Jugador 2 escoge T , entonces para el Jugador 1 también es mejor nR (puesto que $4 > 3$). Sabiendo esto —pues suponemos el conocimiento común de la racionalidad de ambos— al Jugador 2 no le queda otra opción más que no invertir (nT).

De manera similar a lo que ocurre en el DP, aquí también resulta que ambos jugadores, tomando decisiones racionales (nR , nT), salen peor parados que si hubiesen sido irracionales (R , T). La diferencia respecto del DP es que en el Trust Game bastaría que uno solo de los jugadores (Jugador 1) fuese irracional (R) para que la mejor opción del Jugador 2 deje de ser la que era (nT) y pase a ser “invertir” (T). Es decir, supuesto que el Jugador 1 *no* maximiza su utilidad, el Jugador 2 no necesita volverse irracional para que los dos alcancen el óptimo de Pareto. En el DP, en cambio, la cooperación es siempre una opción irracional para *ambos* jugadores. En este sentido, el Trust Game se aproxima un poco a juegos de coordinación como la Caza del venado (*Stag Hunt*), del cual nos ocuparemos en la próxima sección. J1 podría plantearse que le iría mejor teniendo la disposición a devolver la inversión (R), pues J2 escogería invertir (T) si

⁴⁸³ En la simulación pueden modelarse ambas versiones del juego (movimientos simultáneos o sucesivos) aunque los resultados no presentan diferencias significativas.

⁴⁸⁴ Estas variaciones en los pagos se deben a que éstos fueron los valores con los que realicé los experimentos simulados, antes de haber encontrado la descripción del juego que he citado de Bicchieri. Como he dicho, puede verse en cualquier caso que la estructura de la situación (cuáles son las opciones maximizadoras de cada jugador) permanece igual.

conociese esta disposición de J1, con lo cual los pagos de J1 pasarían así de 1 a 3. Pero lo cierto es que este resultado sería de todos modos inestable, pues siempre permanece la tentación de no cumplir con dicha disposición (nR) una vez que J2 ha confiado (T), incrementando así J1 sus pagos de 3 a 4.

Ahora voy a introducir tres modificaciones, aunque el juego seguirá siendo el mismo. La primera se refiere al tipo de historia que podría estar contando este juego. La estructura de la interacción puede interpretarse como la que tendría lugar entre un fabricante o empresario (J1) que ofrece ciertos productos en el mercado. Para maximizar sus beneficios, este fabricante tiene que ahorrar todo lo posible en la producción, de lo que resulta un producto de mala calidad. Esta opción será nR . Puede ahora verse a J2 como un consumidor que busca satisfacer ciertas necesidades adquiriendo el producto ofrecido por el empresario, siempre que este producto tenga la calidad mínima que requiere el consumidor. El curso de acción T se convierte ahora en “consumir”, y nT en no consumir. Es verdad que según queda contada la historia hasta aquí, el personaje del empresario parece terriblemente miope, y es esa incapacidad de mirar a largo plazo lo que determina que el resultado “racional” para ambos jugadores es subóptimo: al empresario le convendrá ahorrarse la calidad haga lo que haga el consumidor, y a éste, visto que el producto es malo, no le convendrá adquirirlo. Pero independientemente de cómo queramos adornar la historia, la sola estructura formal del juego y su solución son inequívocas: el equilibrio se encuentra en nT, nR (y los pagos resultantes son 1, 1).

Sin embargo, cuando las interacciones entre productores y consumidores se repiten, y si unos y otros pueden ver lo que hacen los demás, los agentes van modificando su comportamiento hasta “darse cuenta” de que el resultado (T, R) les resulta a ambos más favorables. Pero puesto que este punto no es de equilibrio —ya que al empresario le conviene desviarse nuevamente hacia productos de baja calidad— se llegan a producir interesantes ciclos donde las respuestas de ambos tipos de jugadores (empresarios y consumidores) van fluctuando entre los dos cursos de acción de que disponen cada uno.

La segunda modificación ya había sido indicada anteriormente, y consiste simplemente en convertir la situación en un juego simultáneo. La estructura que requiere confianza por parte de J2 y cumplimiento por parte de J1 se conserva, pero si J2 moviese primero —como en el planteamiento original— eso implicaría algo así como que el consumidor paga por adelantado, antes de recibir el producto. Por otra parte, si J1 moviese primero, sí se vería alterada la naturaleza del juego, pues en este caso sí sería la opción racional de J1 ofrecer buena calidad (R).

Por último, la tercera modificación que he introducido en el juego se refiere a su implementación en la simulación. Como ya sabemos por el análisis que hicimos del DP, una característica importante de *Bichos* es que los agentes pueden escoger entre el *continuo* de opciones comprendidas entre los dos cursos de acción discretos que definen los juegos en su forma clásica⁴⁸⁵. Por tanto, el empresario puede gastar *más o menos* en mejorar la calidad del producto, mientras que el consumidor puede adquirir cantidades mayores o menores del mismo. Los pagos resultantes serán proporcionales a estas decisiones “intermedias”. En la siguiente tabla represento la versión *continua* del Trust Game.

Tabla 28

		Jugador Consumidor				
		Demanda del producto o servicio				
		0	...	0,5	...	1
Jugador Empresario	1	1 ; 1	...	2 ; 2	...	3 ; 3

	0,34	1 ; 1	...	2,33 ; 1,01	...	3,66 ; 1,02
	0,33	1 ; 1	...	2,34 ; 0,995	...	3,67 ; 0,99

	0	1 ; 1	...	2,5 ; 0,5	...	4 ; 0

En el juego original, pues, ambos jugadores sólo disponen dos estrategias (cursos de acción): “ofrecer un buen servicio” (1) y “ofrecer un mal servicio” (0) para el Jugador 1, y comprar (1) o no comprar (0) para el Jugador 2. Siguiendo las convenciones estipuladas para esta investigación⁴⁸⁶ aquí encontramos nuevamente que la acción maximizadora del interés *ajeno* es representada como 1, mientras que la acción racional, la que maximiza la utilidad propia es designada como 0. Las cuatro combinaciones posibles de pagos resultantes de estas decisiones están en gris, y corresponderían a la versión convencional (no continua) del juego. Las celdas centrales situadas entre dichas esquinas contienen los pagos correspondientes a otras combinaciones de jugadas, comprendidas entre 0 y 1.⁴⁸⁷

Prosiguiendo con las particularidades del juego en su versión continua, en la tabla he destacado las estrategias⁴⁸⁸ “0,33” y “0,34” del empresario, porque marcan la frontera a partir de la cual para el consumidor es racional o irracional consumir. Si el empresario ofrece un producto de calidad 0,33 el consumidor hará tanto mejor cuanto menos consuma: vemos que los pagos del

⁴⁸⁵ Cfr. *supra* 4.3.1

⁴⁸⁶ Cfr. *supra* 4.5.6 y apéndice A (epígrafes 2 y 3)

⁴⁸⁷ Conviene notar que este juego es una buena ilustración para aclarar una vez más el punto de que las funciones de utilidad miden las preferencias, pero que éstas pueden recaer sobre diferentes tipos de “estados de cosas”. Y sin embargo, precisamente por quedar reducidos todos estos a la forma o medida abstracta de la utilidad, se pueden incluir en una misma escala. Los pagos del empresario miden el beneficio económico. Los pagos del consumidor estarían midiendo algo así como la relación calidad/precio del producto ofrecido.

⁴⁸⁸ El término “estrategia” tiene aquí su sentido habitual, es decir, “curso de acción”, y no el sentido que le suelo dar en este trabajo (“regla o disposición para tomar una decisión”).

consumidor disminuyen según nos movemos hacia la derecha en dicha fila: $1 > 0,995 > 0,9$. Si la calidad del producto es 0,34 ahora la relación calidad/precio es tal que para el consumidor es racional —aunque sea mínimamente— comprar el producto. En esta fila, los pagos del jugador aumentan hacia la derecha: $1 < 1,01 < 1,02$.

Obviamente, este punto de inflexión variará según cambiemos también los pagos de las esquinas que definen el juego original (discreto). Y en función de estos pagos será posible calcular el punto exacto a partir del cual es racional consumir.

En la simulación del Trust Game los diversos agentes que componen un vecindario *no juegan todos entre sí*, a diferencia de lo que sucedía en los demás juegos simulados hasta el momento. Distribuidos en el mapa hay una serie de agentes que siempre desempeñan el papel de empresario, y otro conjunto, más numeroso, que son siempre consumidores. Los empresarios interactúan sólo con una serie de consumidores, pero no con otros empresarios. Los consumidores interactúan con diversos empresarios, pero no con todos. A la inversa, cuando se trata de imitar o “heredar” estrategias, los empresarios sólo se fijan en otros empresarios, y los consumidores sólo atienden a las estrategias que han visto emplear a otros consumidores.

Por ejemplo, tomemos el siguiente fragmento de “mundo”, con los empresarios marcados con “E” y los consumidores con “C”. El empresario marcado en rojo ofrece su producto a los consumidores que le rodean (en verde). Pero cuando tenga la ocasión de revisar y/o cambiar su estrategia, mirará cuán exitosos han sido sus vecinos empresarios (en azul). Tomando ahora como punto de referencia el consumidor de la celda amarilla, éste podrá aceptar o rechazar los productos que le ofrezcan los empresarios más próximos (rojo, azules y naranjas). Este consumidor, por su parte, observará y eventualmente copiará las estrategias de sus vecinos *consumidores* (morados, y los tres verdes que hay en la fila inmediatamente a su izquierda).

Figura 18

C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Al ejecutarse la simulación encontramos en muchas ocasiones una variedad de patrones muy interesantes. Eventualmente aparecen empresarios que intentan ser todo lo “tacaños” que pueden. Si los consumidores son poco exigentes y siguen comprando, tanto más siguen estos empresarios disminuyendo la calidad de sus ofertas, en un intento de obtener aún más beneficios. Pero encontramos también puntos de inflexión a partir de los cuales los consumidores reaccionan

disminuyendo la demanda y, en consecuencia, los empresarios comienzan a mejorar la calidad. Se observan dinámicas especialmente interesantes cuando los empresarios ofrecen productos por encima de ese mínimo aceptable para el consumidor (0,33). En estos casos, para el consumidor es racional comprar, y sin embargo a veces parece como si quisieran “echar un pulso” al empresario. Toman la decisión *irracional* de no consumir, perjudicando tanto al empresario como a sí mismos (conducta de castigo) a la espera de que el empresario mejore aun más sus ofertas. Estos boicots, cuando aparecen, suelen en efecto conducir a una mejora de los servicios. Digo “cuando aparecen”, porque en la mayoría de los casos los consumidores son lo suficientemente conformistas como para aceptar servicios mínimamente buenos, renunciando a recibir servicios aun mejores si para ello hay que sacrificarse mediante el castigo que representa el boicot. En la gran mayoría de los experimentos se llega a equilibrios subóptimos, con el empresario ofreciendo servicios mínimamente aceptables, y consumidores comprándolos en cantidades próximas a 1. Pero aunque subóptimos, todos estos resultados están muy por encima de lo que predice la teoría si el juego es considerado estáticamente y no evolutivamente.

Puesto que los patrones son muy variables, si fuese posible hacer una racionalización de todos ellos el modelo adolecería de *infalsabilidad*. Esto es, no habría ningún caso en el cual la simulación no estaría representando un tipo u otro de comportamiento racional, con lo cual no sería posible contrastar si es o no un modelo adecuado de la evolución de estrategias. Pero sí hay un tipo de dinámica que, caso de darse, sería inexplicable. Si los empresarios ofrecen un producto cuya calidad es inferior al mínimo aceptable por el consumidor (0,33 en nuestro ejemplo) y aun así los consumidores continúan comprándolo, aunque sea en cantidades mínimas, esta conducta sería decididamente irracional, incluso en el marco más amplio que presenta la teoría de juegos evolutiva. A esta eventual circunstancia me referiré en lo que sigue como “anomalía” (especialmente en la tabla donde se muestran los resultados). El hecho de que sea posible observar esta anomalía, y que sin embargo su aparición sea muy esporádica, será la medida de cuán apropiada es la simulación.

Las condiciones en las que se efectuaron los experimentos son las siguientes. El mundo tiene 936 habitantes, de los cuales 156 son empresarios y 780 son consumidores. Cada vecindario consta de 24 agentes⁴⁸⁹. Para cada empresario, 12 de sus clientes son siempre los mismos a lo largo de las sucesivas generaciones, pero los otros 12 van variando al azar. La regla de transición es la que hemos llamado Utilidad esperada⁴⁹⁰. Cada jugador (sea empresario o

⁴⁸⁹ Este tipo de vecindario se conoce como “Moore extendido”. Obviamente es utilizado con menos frecuencia que el de Moore (8 vecinos) porque al triplicarse el número de interacciones la simulación pierde velocidad.

⁴⁹⁰ *Cfr. supra* 3.3.1.

consumidor) mira a *todos* sus vecinos a la hora de cambiar de estrategia. Cada consumidor interactúa en cada generación con *al menos* 2, 4 o 6 empresarios (dependiendo de qué lugar ocupe en el mapa) y puede que con algunos empresarios más, si le toca emparejarse con ellos aleatoriamente. Cada simulación se ha ejecutado a lo largo de 1000 generaciones⁴⁹¹.

Al principio de cada tabla indico la única diferencia que ha habido en las dos series de experimentos: 1 o 4 iteraciones, es decir, si en una generación cada consumidor ha interactuado 1 o 4 veces con cada uno de los empresarios de su vecindario. Después de cada tabla he introducido un gráfico donde se puede ver mejor la variación de las estrategias, y cómo dependen unas de otras. Los gráficos corresponden a simulaciones donde se presentaron anomalías, aunque en ellos puede verse también el aspecto que presentan las curvas durante las generaciones que han transcurrido “racionalmente”.

⁴⁹¹ Puesto que estos datos no se cargan con una partida, hay que seleccionarlos manualmente al inicio de la aplicación. Para ello hay que ajustar así los siguientes parámetros: **in Col** = 12, **in Row** = 13, **Distance X** = 1, **Distance Y** = 2. A continuación presionamos **Start**, y aparecerá la ventana **World**. Allí hay que escoger las opciones: **Transition Rules** = Best Strategy, **Iterations** = 1 o 4, y **Neighb.** = 14 (12 fijos + 12 al azar). El menú **Options** debe estar configurado de este modo:

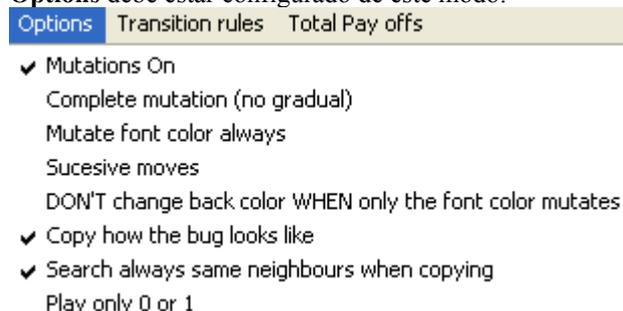


Tabla 29

1 iteración					
N° de experimento (indicado en cada archivo)	Nivel medio de “consumo” (0 mínimo, 1 máximo)	Nivel medio de la relación “calidad/precio” ofrecida por el empresario (0 mínimo, 1 máximo)	Generaciones durante las cuales se han presentado anomalías (véase gráficos)	Porcentaje del tiempo (en generaciones) durante el cuál se presentó la anomalía	Explicación de la anomalía.
01	0,545	0,363	560 – 1000	44%	El empresario ofrece por debajo del mínimo aceptable (0,33) y el consumidor no baja la demanda <i>hasta 0</i> . La irracionalidad es sólo del consumidor, pero es racional que el empresario siga aprovechándose de esta circunstancia. (Véase el gráfico al final de esta tabla).
02	0,972	0,588	0	0	
03	0,792	0,478	950 – 1000	5%	Irracionalidad del empresario, que ve cómo los clientes no consumen, y sin embargo no vuelve a subir la calidad por encima del mínimo aceptable.
04	0,964	0,52	0	0	
05	0,443	0,37	280 – 740	46 %	Igual que el comentario anterior.
06	0,987	0,487	0	0	

07	0,371	0,324	425 – 880 y 910 – 1000	46 %	Igual que el comentario anterior. Aunque los promedios son engañosos (y por eso comento las anomalías) en este caso resulta que, además, el promedio de los empresarios (0,324) es inferior al mínimo aceptable (0,33).
08	0,96	0,437	0	0	
09	0,983	0,422	0	0	
10	0,984	0,44	0	0	
11	0,965	0,607	0	0	
12	0,882	0,467	0	0	
Promedio	0,821	0,459		11,75 %	

Figura 19



La línea verde representa la demanda de los consumidores, y la línea roja indica el nivel de calidad ofrecido por los empresarios. Las líneas horizontales, verde y roja, marcan sus respectivos niveles promedio a lo largo de las mil generaciones.

Tabla 30

4 iteraciones					
Nº de experimento (indicado en cada archivo)	Nivel medio de "consumo" (0 mínimo, 1 máximo)	Nivel medio de la relación "calidad/precio" ofrecida por el empresario (0 mínimo, 1 máximo)	Generaciones durante las cuales se han presentado anomalías (véase gráficos)	Porcentaje del tiempo (en generaciones) durante el cuál se presentó la anomalía	Explicación de la anomalía.
01	0,971	0,671	0	0	
02	0,88	0,39	0	0	Hay caídas por debajo de 0,33 en la calidad ofrecida, pero la reacción del consumidor, y posterior subida de la calidad, son muy rápidas.
03	0,827	0,458	0	0	Igual que el comentario anterior.
04	0,973	0,533	0	0	
05	0,974	0,521	0	0	
06	0,984	0,506	0	0	
07	0,861	0,493	440 – 550	11%	No se entiende por qué si el consumo es máximo, los empresarios empiezan a perder beneficios aumentando espontáneamente la calidad. Y los consumidores, como respuesta, bajan la demanda. Irracional por ambas partes.
08	0,985	0,491	5 – 50	4,5%	El consumo aumenta claramente, y los empresarios, en lugar de mantener o disminuir el nivel de calidad, siguen mejorándola.
09	0,982	0,604	0	0	
10	0,825	0,378	0	0	

11	0,983	0,515	0	0	En la generación 50 los empresarios reducen la calidad por debajo de 0.33, pero el "boicot" y posterior mejora son inmediatos.
12	0,666	0,576	610 – 620	1 %	La calidad de la oferta sube notablemente, pero el consumo se mantiene bajo (a continuación doy una explicación mas detallada)
Promedio	0,909	0,511		1,375%	

Este último experimento presenta un gráfico en apariencia bastante irregular.

Figura 20



Sin embargo, los múltiples picos y valles no indican nada irracional. Siempre que la calidad del producto disminuye por debajo del límite aceptable (0,33) los consumidores bajan drásticamente el consumo (si no inmediatamente, unas pocas generaciones después, lo cual no deja de ser una reacción muy rápida —en apariencia inteligente— para agentes que carecen de toda finalidad). Tras esta respuesta racional de los consumidores, los empresarios cambian también hacia una estrategia racional: mejorar la calidad, al menos hasta el mínimo aceptable. Hay una *aparente*

anomalía entre las generaciones 550 y 600: la calidad *baja* muy rápidamente, y la pendiente del *incremento* del consumo es también muy pronunciada. Pero aquí no hay realmente ningún comportamiento irracional, pues siempre que la calidad sea mayor que 0,33 a los consumidores les convendrá comprar tanto como sea posible (aunque esto demuestre un gran conformismo por parte de ellos). Y lógicamente, dado ese conformismo, los empresarios intentan maximizar aún más sus rendimientos. Sólo cuando éstos se exceden en sus recortes (generaciones 590 – 600, donde la calidad es inferior a 0,33) los consumidores reaccionan, pues ya no les compensa consumir (observamos que la línea verde cae en picado inmediatamente).

La conclusión que podemos extraer de esta serie de experimentos virtuales es que una dinámica evolutiva puede resolver mediante selección natural un conflicto que agentes plenamente racionales no podrían superar aplicando una racionalidad puramente maximizadora. Para escapar de esta suboptimalidad del Trust game considerado desde la teoría de juegos convencional, los agentes racionales disponen todavía de un camino alternativo al estudiado por la teoría de juegos evolutiva. Esta alternativa no sería otra que una solución moral: la irracionalidad que supone confiar en la buena disposición del otro, y que éste cometa también la irracionalidad de no defraudar esa confianza. Si observamos los resultados de los experimentos descubrimos que esta solución moral sería para ambos jugadores incluso más efectiva que la solución evolutiva. Mediante los sucesivos ajustes resultantes de un proceso de ensayo y error repetido a lo largo de varias generaciones, el grado de eficiencia medio que alcanzan ambos tipos de jugadores es 0,485 para los empresarios y 0,865 para los consumidores. El grado de confianza de los consumidores está mucho más cerca del óptimo que el grado de respuesta a esa confianza por parte de los empresarios. En cualquier caso, ambos niveles están muy por encima de lo predicho por la teoría heredada. Podríamos decir que la evolución no proporciona la optimalidad que en este juego ofrecería la moralidad, pero sí unos resultados mucho más favorables que los proporcionados por la pura racionalidad maximizadora.

La *posibilidad* de que existan anomalías, y que éstas sólo se presenten muy raramente (promedio de 1,375% y 11,75% en cada serie de experimentos) indican que el modelo, *sin ser tautológico*, es capaz de representar adecuadamente diferentes tipos de comportamientos en situaciones estratégicas.

4.7 La Caza del venado (*Stag Hunt*)

4.7.1 Presentación

Finalizaré este capítulo dedicado a los experimentos virtuales con un juego que Skyrms presenta como modelo del estado de naturaleza, a partir del cual se explicaría el surgimiento de un contrato social, en este caso enfocando el problema planteado por Hobbes en términos evolutivos. La situación es conocida como “Caza del venado”, y da su nombre al libro que Skyrms dedica a este análisis (*Stag Hunt*). Presentaré la historia tal como la describe el propio Skyrms al inicio de su exposición:

[...] The game is a prototype of the social contract. The story is briefly told by Rousseau, in *A Discourse on Inequality*: “If it was a matter of hunting a deer, everyone well realized that he must remain faithful to his post; but if a hare happened to pass within reach of one of them, we cannot doubt that he would have gone off in pursuit of it without scruple”. [...]

Let us suppose that the hunters each have just the choice of hunting hare or hunting deer. The chances of getting a hare are independent of what others do. There is no chance of bagging a deer by oneself, but the chances of a successful deer hunt go up sharply with the number of hunters. A deer is much more valuable than a hare. Then we have the kind of interaction that is generally known as the stag hunt.⁴⁹²

Formalizaremos la situación con la misma matriz de pagos que emplea Skyrms, y siguiendo la convención que veníamos empleando en el DP y el juego del Gallina, llamaré “cooperar” a la opción que más tiene en cuenta los pagos *ajenos* y “defraudar” a aquella que más los perjudica. Enseguida veremos que en este caso, además, la función de utilidad del otro jugador coincide con la propia, de modo que nos encontraríamos en un juego de coordinación. Es decir, no se trata de intereses opuestos, sino coincidentes. El problema está en cómo habrán de coordinarse ambos jugadores para obtener sus mejores resultados.

Tabla 31

		Jugador 2 (J2)	
		Cooperar (cazar venado)	Defraudar (cazar liebre)
Jugador 1 (J1)	Cooperar (cazar venado)	4 ; 4	0 ; 3
	Defraudar (cazar liebre)	3 ; 0	1 ; 1

Se trata de otro caso donde se presenta el problema de la selección de equilibrios, que ya tuvimos ocasión de discutir durante el análisis del juego Partir la tarta (4.4). En efecto, en la Caza del venado se presentan dos equilibrios de Nash (ambos cooperan, o ambos defraudan). Parece evidente que el primero de los equilibrios sería el seleccionado por dos jugadores racionales,

⁴⁹² Skyrms, 2004, p. 1

incluso sin poder comunicarse. Sin embargo, este carácter intuitivo depende de algunos supuestos acerca de qué rasgos de la situación y de los jugadores son CK⁴⁹³. Para ello, pues, tenemos que contar con los siguientes supuestos, que habrán de ser CK (sigo la exposición de Bicchieri en *Rationality and Coordination*):

- i) J1 sabe que J2 es racional
- ii) J1 conoce todas los posibles cursos de acción (estrategias) de J2
- iii) J1 conoce las preferencias de J2 sobre los resultados
- iv) J2 sabe que J1 es racional
- v) J2 conoce todas los posibles cursos de acción (estrategias) de J1
- vi) J2 conoce las preferencias de J1 sobre los resultados⁴⁹⁴

Además,

- vii) Tanto J1 como J2 conocen (i) – (vi)⁴⁹⁵
- viii) Las condiciones (i) – (vii) son CK entre J1 y J2⁴⁹⁶

Esta serie de supuestos puede resumirse en dos puntos, acerca del conocimiento común que comparten todos los jugadores:

CK1: La estructura del juego, que incluye el conjunto de estrategias de cada jugador y sus respectivas funciones de utilidad (pagos).

CK2: Los jugadores son racionales (son maximizadores de la utilidad esperada)⁴⁹⁷.

Sin embargo, Bicchieri presenta otro juego, que si bien no es exactamente la Caza del venado, presenta una estructura similar en lo que respecta a la existencia de varios equilibrios. Bicchieri considera que CK1 y CK2 son *insuficientes* para garantizar que ambos jugadores coordinarán sus decisiones de manera que obtengan el resultado A1 – A2.

Tabla 32

		Jugador 2 (Col)	
		A2	B2
Jugador 1 (Row)	A1	9 ; 9	0 ; 8
	B1	8 ; 0	8 ; 8

⁴⁹³ Recordemos que usamos la abreviatura del nombre en inglés (*common knowledge*) para referirnos al concepto de “conocimiento común”. Véase la definición en 4.4.1 *supra*.

⁴⁹⁴ *Cfr.* Bicchieri, 1993, p. 37

⁴⁹⁵ *Cfr.* Bicchieri, 1993, p. 38

⁴⁹⁶ *Cfr.* Bicchieri, 1993, p. 39

⁴⁹⁷ Se trata por tanto de las mismas definiciones que hemos empleado durante el examen de Partir la tarta (sección 4.4). Vuelvo a introducirlas como mero recordatorio y para situar el contexto.

Row [Jugador 1] may reason: “Since Col [Jugador 2] is rational, she will aim at maximizing her expected utility, given her beliefs about my strategy choice. She knows that I am rational, so she expects me to choose the strategy that maximizes my expected utility, given my beliefs about her choice”.⁴⁹⁸

En este razonamiento que acabo de citar están contenidos CK1 y CK2. Sin embargo, prosigue Bicchieri:

That [A1 – A2] is the equilibrium with greater payoffs for both players does not make it individually rational to choose it, unless one is sure enough that the other player is aiming at it, too. [...] To be of any use, this intuition should be captured by the formal model of the game as a description of what players know. For example, if it were common knowledge that equilibrium points with greater payoffs for all players should be preferred in equilibrium selection, the coordination of expectations would follow.⁴⁹⁹

Podemos llamar CK4 a esta nueva condición: es conocimiento común que hay que buscar los equilibrios que ofrecen mayores pagos. Pero cabe preguntarse si esta nueva condición no está ya contenida simplemente en CK1. Sea como fuere, Skyrms no entra en estas consideraciones y mantiene sin más que ambos equilibrios son viables, señalando que el equilibrio en que ambos defraudan es “riesgo-dominante” (*risk dominant*).

El propósito de Skyrms es mostrar que el equilibrio de Nash que resulta intuitivamente racional (ambos cazan el venado) puede ser seleccionado mediante un proceso evolutivo, sin contar con el supuesto (viii). En el planteamiento que adoptaré para mis simulaciones tampoco partiré de que el equilibrio de cazar el venado sea más racional que el de cazar cada uno sus liebres, y sólo hay que hacer una puntualización al respecto. En *Bichos* la estrategia consistente en cazar el venado es evaluada como la opción cooperativa (= 1). Esto se desprende del hecho de que si un agente hiciese suyos los pagos del otro, entonces cazar el venado sería su estrategia dominante ($4 > 0$ y $3 > 1$)⁵⁰⁰. Ahora bien, si a falta de una estrategia dominante seguimos a Skyrms y tampoco adoptamos la solución de estrategias mixtas, tendremos que indicar de algún modo a los agentes artificiales cuál es su opción racional, maximizadora. Si no es ni cazar el venado ni cazar la liebre, porque no son dominantes, pero tampoco una combinación aleatoria de ellas, resulta inevitable echar mano, ahora sí, del supuesto (viii). Siendo CK que ambos intentarán seleccionar el equilibrio que proporciona mayores pagos, entonces la opción racional de cada uno será también cazar el venado. *También*, en cuanto que cazar el venado era ya la opción que maximizaba la función de utilidad ajena. Así pues, la maximización de la función de

⁴⁹⁸ Bicchieri, 1993, p. 66

⁴⁹⁹ Bicchieri, 1993, p. 67

⁵⁰⁰ *Cfr.* Apéndice A, epígrafe 3.

utilidad propia coincide con la maximización de la utilidad del otro jugador. Los agentes artificiales de Bichos, para este juego, emplearán siempre su función de *coordinación*⁵⁰¹. Pero esto es sólo un punto de referencia, una manera de asignar grados de cooperación a los diversos cursos de acción (no sólo para los agentes artificiales, sino también para el usuario). En modo alguno significa que, coincidiendo los intereses de ambos, los agentes artificiales tenderán por ello a escoger sin más la opción cooperativa. En el caos inicial de un mundo generado por el programa se encuentran numerosas estrategias que deciden defraudar (cazar la liebre), o que presentan conductas absurdas, como defraudar si esperan que el otro coopere (o viceversa). De hecho, los resultados de los experimentos que veremos más adelante muestran cuáles son las condiciones precisas en las que se obtiene el equilibrio cooperativo. Puestas en marcha las simulaciones, cazar el venado dista de ser siempre la estrategia evolutivamente estable.

En lo que sigue, denotaré como “VV” el equilibrio en que ambos jugadores deciden cazar el venado, y como “LL” el equilibrio donde los dos eligen cazar la liebre.

4.7.2 Un modelo del contrato social

Antes de pasar al análisis de estos resultados (tanto los de Skyrms como los obtenidos con *Bichos*) conviene considerar por un momento la interpretación que Skyrms hace de este juego, en relación con el DP y la construcción de un modelo del contrato social.

Suppose that prisoner’s dilemma is repeated. Then your actions on one play may affect your partner’s actions on other plays, and considerations of reputation may assume an importance that they cannot have if there is no reputation. [...] Hobbes does not believe that the Foole has made a mistake concerning the nature of rational decision. Rather, he accuses the Foole of a shortsighted mis-specification of the relevant game: “He, therefore, that breaketh his Covenant, and consequently declareth that he think that he may with reason do so, cannot be received into any society that unite themselves for Peace and Defense, but by error of them that receive him”. According to Hobbes, the Foole’s mistake is to ignore the future.

[...] How can we analyze the shadow of the future? [...] Suppose that the probability that the prisoner’s dilemma will be repeated another time is constant. In the repeated game, the *Foole* has the strategy of always defecting. Hobbes argues that if someone defects, others will never cooperate with the defector. Those who initially cooperate but who retaliate, as Hobbes suggests against defectors, have a *Trigger* strategy.

If we suppose that Foole and Trigger are the only strategies available in the repeated game and that the probability of another trial is 0.6, then the shadow of the future transforms the two-person prisoner’s dilemma

⁵⁰¹ Estos conceptos (función de cooperación y función de coordinación) fueron introducidos en 4.5.3, en relación con el juego del Ultimátum y la noción de racionalidad modular.

Tabla 33

	Cooperate	Defect
Cooperate	2 ; 2	0 ; 3
Defect	3 ; 0	1 ; 1

into the two-person stag hunt.⁵⁰²

Tabla 34

	Trigger	Foole
Trigger	5 ; 5	1.5 ; 4.5
Foole	4.5 ; 1.5	2.5 ; 2.5

Aunque Skyrms no lo hace explícito, considero oportuno especificar cómo los pagos del primer juego dan lugar al segundo, según esa probabilidad de una próxima interacción. De esta probabilidad se puede extraer un parámetro de actualización, W , que podemos denominar “sombra del futuro”. En 4.4.2.3 ya quedó explicado qué representa este parámetro y cómo se calcula⁵⁰³. Ahora tomaré directamente los valores que propone Skyrms: una probabilidad $p = 0,6$ de que haya una futura interacción, de lo que resulta $W = 2,5$.

Así pues, para convertir los valores de la tabla 33 en los de la tabla 34, cada pago tendrá que multiplicarse por $1 / (1 - 0,6) = 2,5$, restando y sumando en algunos casos la diferencia que las interacciones entre estrategias diferentes producen en la primera jugada.

- Trigger contra Trigger. Siempre cooperarán mutuamente, de modo que la utilidad esperada será $2 \cdot 2,5 = 5$.
- Foole contra Foole. Siempre se defraudarán: $1 \cdot 2,5 = 2,5$
- Trigger contra Foole. Siempre se defraudarán, excepto en la primera jugada, en la cual Trigger se deja explotar, de manera que en ella no obtiene 1, sino 0. Por tanto: $(1 \cdot 2,5) - 1 = 1,5$
- Foole contra Trigger. También se defraudarán siempre, pero en la primera jugada Foole consigue explotar a Trigger, con lo cual obtiene 2 puntos extra (3 en lugar de 1). Así, pues: $(1 \cdot 2,5) + 2 = 4,5$

⁵⁰² Skyrms, 2004, pp. 4 – 5.

⁵⁰³ Véase también Axelrod (1986, p. 24)

Sin duda es de gran interés esta forma de ver el DP iterado como una formalización del hipotético estado de naturaleza, para salir del cual cada individuo dispuesto a suscribir el contrato social necesita saber que los demás también se unirán al mismo⁵⁰⁴. Sin embargo, podemos prescindir del DP iterado y centrarnos directamente en la caza del venado como modelo de esta situación, pues los cálculos de los pagos previstos a largo plazo —a la vista de las probabilidades de futuras interacciones— sólo se pueden llevar a cabo con pocas estrategias (disposiciones) que además, como Trigger y Foole, han de ser simples y repetitivos. Cuando las reglas para escoger una acción alcanzan la multiplicidad y complejidad de las empleadas por los agentes artificiales de *Bichos*, se vuelve imposible calcular cuáles serían los rendimientos esperados para un determinado juego⁵⁰⁵. Esto se debe fundamentalmente a que son estrategias sensibles, que reaccionan de diferente manera, en cada iteración, dependiendo de lo que hayan hecho otros jugadores (ciertamente la estrategia Trigger es sensible, pero su capacidad de discernimiento se reduce a la información recogida tras la primera jugada).

4.7.3 Las simulaciones de Skyrms: sensibilidad de los equilibrios a la disposición espacial y las proporciones en los pagos

Me ocuparé en primer lugar de las simulaciones de Skyrms, que cuentan con dos tipos de estrategia muy simple: cooperar siempre (cazar el venado) y defraudar siempre (cazar la liebre). El análisis de sus experimentos irá acompañado de la correspondiente simulación implementada en *Bichos*, a fin de comparar sus coincidencias y divergencias. Posteriormente detallaré una serie de experimentos efectuados con mi simulación, en las que iré variando diversas condiciones (tamaño de los vecindarios, emparejamientos fijos o al azar, número de iteraciones, reglas de

⁵⁰⁴ Cabe apuntar que este juego puede ser una representación, no del estado de naturaleza hobbesiano, sino más bien un modelo de la postura defendida por Hume: la moral (junto con las normas, la autoridad en general) no procede de un pacto, sino que se producen de modo progresivo, por convención o acuerdo tácito, debido a que son beneficiosas para todos. En este sentido merece la pena destacar la observación de Hampton:

Hume was far more willing than Hobbes to credit people with substantial other-regarding desires that he considered to be the (natural) source of many moral virtues, but he also insisted that our self-regarding desires could cause us to invent “artificial” virtues such as being just, respecting other’s property rights, keeping one’s promises, and being chaste. Hume is so clear in presenting the creation of these virtues as a conventional solution to a coordination problem that David Lewis [*Conventions*] uses Humean remarks and examples to illustrate what coordination problems are and how conventions work to resolve them. (Hampton, 1991, p. 37)

Ciertamente, como modelo dinámico una simulación de este tipo representa mejor un acuerdo tácito que un pacto, por cuanto los agentes artificiales no son capaces de acordar nada. De hecho, pese a que la convergencia hacia los equilibrios cooperativos es muy rápida, en las generaciones iniciales pueden observarse conductas que no responden a lo que sería una voluntad de establecer un pacto racional. Es necesario un breve proceso de selección hasta que resultan eliminadas aquellas estrategias que se apartan de las convenciones más beneficiosas (en este caso, cazar el venado). En cualquier caso, puesto que la salida del estado de naturaleza tampoco es un pacto real, sino una reconstrucción racional, se entiende que Skyrms señale la aproximación al modelo hobbesiano.

⁵⁰⁵ En realidad sí se podrían predecir estos resultados, dadas dos estrategias (algoritmos) y un juego determinado, mediante cálculos prolijos y reiterados. Una forma de llevar a cabo este cálculo sería, precisamente, ejecutar una simulación en *Bichos* y seguir paso a paso las sucesivas interacciones entre un par de estrategias.

transición) con el fin de generalizar algunas conclusiones que se pueden extraer de dichos experimentos, tal como habíamos hecho ya en el caso del DP. También aquí, la diferencia fundamental estará en que las simulaciones de *Bichos* incluyen un número potencialmente ilimitado de estrategias, que pueden cooperar o defraudar en diversos grados (juego continuo) y ello, a su vez, respondiendo a patrones estereotipados (como Trigger o Foole) pero también observando las conductas previas de otros agentes y reaccionando a ellas, no sólo de maneras que podríamos calificar de racionales, sino también no maximizadoras (por ejemplo, como ya mencioné anteriormente, se pueden generar al azar estrategias que deciden cooperar si “esperan” que el otro jugador defraude, o viceversa).

Comencemos por enumerar las condiciones que Skyrms define para su primer experimento:

- La regla de transición es Replicator dynamics.
- No hay un vecindario espacialmente estructurado, es decir, los encuentros son siempre al azar.
- No especifica con cuántos individuos interactúa cada jugador en una generación. A falta de otra indicación, podemos suponer que en la simulación de Skyrms cada agente se encuentra con un solo individuo a lo largo de una generación. En *Bichos*, sin embargo, han de ser por lo menos 4.
- Tampoco está indicado si cada par de sujetos juegan una sola vez, o si se trata de un juego iterado. Supondremos también que no es un juego iterado, incorporando esta condición en *Bichos*.
- Comienza con una población en la que se distribuyen al azar los jugadores en proporciones equitativas (50 por ciento de cazadores de venados y 50 por ciento de cazadores de liebres).
- Los pagos no son los definidos anteriormente para presentar el juego, sino que Skyrms utiliza otros, indicados más abajo en la tabla 35 (sólo se indican los pagos para el jugador que elige filas)⁵⁰⁶.

Bajo estas condiciones, el resultado que verifica Skyrms es que “the replicator dynamics converges to a population where all hunt hare”. Si abrimos el archivo **Stag Hunt_p32_50.dpt**, podemos confirmar con *Bichos* exactamente esta misma dinámica, que dada la sencillez de las estrategias empleadas puede también recibir un enfoque analítico, al margen de las simulaciones. Podemos ir viendo la evolución de ambos tipos de estrategia valiéndonos de un esquema como el que habíamos utilizado en el análisis del juego Ultimátum. En las dos columnas centrales

⁵⁰⁶ Cfr. Skyrms, 2004, p. 32

escribimos los pagos de una cada estrategia al interactuar con alguna de las dos estrategias posibles. Multiplicando esta utilidad por la probabilidad de encontrarse con uno u otro tipo, obtenemos la utilidad esperada de cazar el venado o cazar la liebre, que aparecerán en la última columna $U(A)^{507}$.

Tabla 35

	Cazar venado proporción = 0,5	Cazar liebre proporción = 0,5	U(x)
Cazar venado	3	0	$U(v) = 1,5$
Cazar liebre	2	2	$U(l) = 2$

Tenemos, pues, que el rendimiento medio de la población, U , es 1,75. Así, la población inicial de cazadores de venados disminuirá según el cociente $U(v) / U = 0,86$, mientras que la población de cazadores de liebres aumentará en $U(l) / U = 1,14$. En la siguiente generación, por consiguiente, la proporción de cazadores de venado será $0,5 \cdot 0,86 = 0,43$ y la de cazadores de liebre será $0,5 \cdot 1,14 = 0,57$.

Sólo resta ir repitiendo estas operaciones hasta que la estrategia “Cazar el venado” se extinga completamente. Lo cual ocurre tanto más rápidamente cuanto menor es el número de individuos que la emplean. Es fácil deducir que con el juego definido según estos pagos, cualquier distribución inicial en la que los cazadores de venados representen menos de $2/3$ del total conducirá a una población donde todos los individuos cazan liebres. Si los cazadores de venado son más de $2/3$ del total, Replicator dynamics conduce, por el contrario, a una población completamente compuesta por cazadores de venados. Y si iniciamos la simulación con $2/3$ cazando venados y $1/3$ cazando liebres, el equilibrio será un polimorfismo que mantiene estas mismas proporciones⁵⁰⁸.

⁵⁰⁷ Los pagos considerados en esta ocasión son los que Skyrms especifica para la segunda serie de experimentos, algo diferentes de los empleados en la exposición del capítulo 1 de *Stag Hunt*, aunque el juego sigue siendo el mismo. La matriz de pagos correspondiente está representada en la tabla 36 (*infra*).

⁵⁰⁸ En el modelo de *Bichos* esta predicción se cumple tanto más exactamente cuanto mayor es el número de vecinos con los que interactúa cada jugador. Es decir, *con total exactitud* no se cumple casi nunca si juega contra 4 y se cumple casi siempre si juega contra 24 (se sigue manteniendo de todos modos las condiciones: *a*) que sea *una sola vez contra cada uno*, y *b*) que los emparejamientos sean aleatorios). No es realmente un defecto del modelo, y tiene una explicación muy sencilla. Se trata otra vez del modo en que inevitablemente queda implementada la regla Replicator dynamics en un contexto *real* (por virtual que sea esta realidad). Los individuos son entidades concretas y discretas, y no puede ser que una celda esté ocupada por 0,67 cazadores de venado y 0,33 cazadores de liebre. El tipo de estrategia, *único*, que empleará una cierta celda se decide al azar, de acuerdo con dichas proporciones (una explicación detallada de este punto se encuentra en la sección 3.3.3). Ahora bien, si el reparto se produce entre 5 celdas (4 vecinos + jugador central) la distribución, aunque respete esas proporciones al realizar el “sorteo” no producirá resultados acordes a las mismas. Si consideramos un vecindario de von Neumann (5 jugadores), no hay manera de que el 67 por ciento de ellos emplee una determinada estrategia. No pueden ser 3,35 individuos, sino que serán 3 o 4. Esta diferencia de ± 1 individuo, entre un total de 5, representa un margen de error bastante alto. En cambio, si el vecindario se compone de 25 individuos (Moore extendido), que el 67% deba ser cazador de venados significa que 16,75 individuos deberían adoptar esta estrategia. Nuevamente esto no es posible, pero ahora el margen de error ± 1 es en comparación con los 25 vecinos mucho más reducido. Hay dos pruebas de que ésta es la razón. Si mantenemos la simulación en el vecindario de von Neumann, pero subimos el “punto crítico” de 0,67 a 0,8, ahora sí se cumple que la población tiende al equilibrio VV. Pues en un vecindario de 5 jugadores, el 80% del mismo sí puede representarse con un número entero (= 4). La segunda prueba requiere introducir un concepto

Posteriormente encontramos otra serie de simulaciones, más interesantes, por cuanto permiten estudiar una serie de rasgos —muy especialmente las distribuciones en el espacio— para cuyo tratamiento sí resultan especialmente útiles las simulaciones con ordenador. Las condiciones son ahora las siguientes:

- La regla de transición es la que Skyrms llama “imitate-the-best”, equivalente a la que habíamos denominado MaxiMax⁵⁰⁹. Esto es: al cabo de una generación, cada individuo observa su vecindario y adopta la estrategia del vecino que ha obtenido la suma más alta de pagos en términos absolutos (o conserva su propia estrategia, si es ésta la que ha obtenido la mayor puntuación).
- El vecindario estudiado es el de Moore (cada jugador está rodeado por ocho vecinos: N, S, E, O, NE, NO, SE y SO).
- Los pagos son los mismos que en el ejemplo anterior, aunque ahora representaré en la tabla 36 los pagos de ambos jugadores (aunque sean simétricos, se ve así más claramente): “We focus on our prototypical stag hunt, where hare hunters *always* get 2, and stag hunters get 3 if they work with another stag hunter and 0 if they work with a hare hunter”⁵¹⁰.

Tabla 36

	Cazar venado (Cooperar = 1)	Cazar liebre (Defraudar = 0)
Cazar venado (Cooperar = 1)	3 ; 3	0 ; 2
Cazar liebre (Defraudar = 0)	2 ; 0	2 ; 2

Es importante notar que con estos pagos resulta más visible que el equilibrio donde ambos defraudan es riesgo-dominante. Cazar la liebre siempre garantiza una utilidad de 2, mientras que intentar obtener un resultado aun mejor (VV = 3) conlleva el riesgo de no obtener nada, si no logramos coordinarnos con el otro jugador.

nuevo, del que Skyrms se ocupa más adelante, pero que dejaremos fuera de esta investigación. Skyrms y otros autores (Siebrasse de manera destacable, por su simulación que puede encontrarse en <http://law.unb.ca/Siebrasse/GameTheory.htm>) distinguen entre vecindario de *interacción* y vecindario de *observación*. El vecindario de interacción es el conjunto de vecinos con los que *jugamos*, y el de observación es el conjunto de vecinos a los que *copiamos*, llegado el caso, a la hora de elegir una nueva estrategia. Entonces, manteniendo en *Bichos* el vecindario de interacción en los 4 vecinos de von Neumann, pero ampliando el de observación a 24, sí se cumple exactamente la predicción de Replicator dynamics. Y la razón es la que he mencionado antes: la distribución aleatoria de estrategias, en proporción a su rendimiento, se hace entre 25 individuos (vecindario de observación) y no sólo entre 5.

⁵⁰⁹ Cfr. *supra* 3.3.1

⁵¹⁰ Skyrms, 2004, p. 32

Éstos son los rasgos comunes a todos los experimentos realizados por Skyrms en esta segunda serie de simulaciones. Ahora las diferencias en cada una de ellas. Especifico estas diferencias citando directamente las palabras de Skyrms, y agrego a continuación mis comentarios.

- “If we start with 10 percent stag hunters, we almost always end up with a population of all hare hunters”⁵¹¹. La reproducción de este experimento en *Bichos* se encuentra en el archivo **Stag Hunt_p37_10.dpt**. En efecto, observamos que ocurre lo que Skyrms describe. Podemos además generalizar la conclusión y añadir que todo depende de la distribución inicial en bloques de cazadores de venados. Para que éstos subsistan — sólo aisladamente, sin siquiera extenderse— se requiere un grupo de al menos 9 individuos (3 x 3) que empleen la estrategia cooperativa. Y si sólo hay un 10% de cazadores de venado en la población original, es muy improbable que el azar los distribuyan en esta configuración.
- “But if we start with 30 or 40 percent stag hunters, we frequently arrive at equilibrium states that consist of one or more rectangles of stag hunters surrounded by hare hunters”. Estos dos experimentos están en los archivos **Stag Hunt_p37_30.dpt** y **Stag Hunt_p37_40.dpt**, respectivamente. Nuevamente, la implementación en *Bichos* produce los resultados que obtiene Skyrms. La razón de que se formen estos rectángulos si iniciamos el experimento con una proporción mayor de cazadores de venado, es la misma que he señalado en el punto anterior. Más en concreto, Skyrms detalla cómo se producen estos patrones territoriales:

All hare hunters get a payoff of 16 [2 for each Moore (8) neighbor]. The leading-edge stag hunter gets a payoff of 15 [3 for each stag hunter he meets]. The hare hunter keeps her strategy because all she sees are leading-edge stag hunters and other hare hunters. The stag hunters sees non-leading-edge stag hunters to his NW, W and SW, and they all get a payoff of 24 because they meet only stag hunters. The stag hunter imitates these interior stag hunters, and remains a stag hunter.

⁵¹¹ Skyrms, 2004, p. 37

Figura 21 (Edges)

S	S	S	H	H	H
S	S	S	H	H	H
S	S	<u>S</u>	<u>H</u>	H	H
S	S	S	H	H	H
S	S	S	H	H	H

Figura 22 (Corners)

			S	S	S
			S	S	S
H	H	<u>H</u>	S	S	S
H	H	H			
H	H	H			

The corners of the rectangle remain unchanged for the same reason. The corner stag hunter imitates prosperous interior stag hunters. The hare hunters see no interior stag hunters and do not change.

A rectangle of hare hunters surrounded by stag hunters does not do so well. A corner hare hunter sees a stag hunter who interacts with him and seven [sic] other stag hunters and converts to stag hunting, as shown in Figure 2.⁵¹²

Podemos ampliar la explicación de Skyrms con una generalización que se puede observar fácilmente ejecutando la simulación. Los rectángulos de cazadores de venado permanecen estables si constan al menos de 9 individuos y son *convexos*⁵¹³. El “contagio” de la estrategia “cazar el venado” ocurre *sólo si* los grupos de cazadores de venado todavía no se han cerrado en una figura convexa.

A continuación Skyrms describe más experimentos virtuales, en los que ha modificando algunas de las condiciones especificadas hasta aquí. Sin embargo, veremos enseguida que los resultados ofrecidos por *Bichos* no coinciden con los de Skyrms. Entiendo que esta divergencia, sin embargo, no se debe a un error de la simulación que propongo aquí (se pueden verificar todas las condiciones y su funcionamiento) sino a una especificación insuficiente de otros requisitos, en particular la configuración de los pagos, tal como el propio Skyrms reconoce más adelante.

- “This breakdown of rectangles of hare hunters also happens if we change the imitation dynamics from the more easily analyzed ‘imitate the best individual in the neighborhood’ [MaxiMax] to the more realistic ‘imitate the strategy that performs best on average in the neighborhood’ [Utilidad esperada]”⁵¹⁴.

⁵¹² Skyrms, 2004, pp. 37 – 38

⁵¹³ Se entiende por figura convexa aquella en la cual, para cualquier par de puntos que tomemos en su interior, estos dos puntos se pueden unir con un segmento de línea que pase siempre por el interior de la figura.

⁵¹⁴ Skyrms, 2004, p. 38

En lo que respecta al mayor realismo de la segunda regla —equivalente a la que aquí conocemos como Utilidad esperada— y aunque Skyrms no indica en qué sentido es más realista, podemos suscribir esta afirmación si consideramos que esta regla representa mejor el modo en que un maximizador bayesiano escogería un cambio de estrategia en una situación de incertidumbre. La justificación de este argumento fue desarrollado en el capítulo 3.3.1. El archivo correspondiente a esta simulación es **Stag Hunt_p38_40_BestStrategy.dpt**.

Es cierto que los rectángulos de cazadores de liebres rodeados por cazadores de venados se van reduciendo hasta desaparecer. Pero este tipo de estructura muy raramente se da en la configuración aleatoria producida al inicio de cada simulación⁵¹⁵. En este sentido es mucho más destacable la *diferencia* que se observa si cambiamos a Utilidad esperada, y que Skyrms no menciona. Partiendo de distribuciones al azar, cuando la dinámica es conducida por esta otra regla los cazadores de liebres conquistan rápidamente toda la población, y los cazadores de venado sólo pueden sobrevivir en grupos *cerrados* de tamaño *superior a 4 x 4*. Estas dimensiones pueden ser menores si modificamos los pagos considerados hasta el momento (tabla 36 *supra*); más en concreto, disminuyendo el pago que obtiene un cazador de liebre cuando interactúa con un cazador de venado. Veremos enseguida que Skyrms, aun sin entrar en detalles, es consciente de esta “sensibilidad a los pagos”.

- “If we use the same dynamics [Utilidad esperada] on the von Neumann (4) and the Moore (24) neighbourhoods, it is still true that with 50/50 initial population proportions, the stag hunt takes over more often, but the mechanisms involved in each case are a little different. Furthermore, the results are sensitive to the particular payoffs used.”⁵¹⁶.

Desgraciadamente, *Bichos* no puede confirmar esta afirmación. La razón hay que atribuirla a la observación final de Skyrms. En este caso el autor no especifica qué pagos está empleando para estas dos nuevas simulaciones, con lo cual he supuesto que son los mismos que ha definido páginas atrás⁵¹⁷.

La primera la encontramos en el archivo **Stag Hunt_p39_50_BestStrategy_vN.dpt**. Aquí, con vecindarios de von Neumann, los pocos cazadores de venado que subsisten se estabilizan en islas cuyos bordes van oscilando de manera muy llamativa (es difícil de describir con palabras, pero vale la pena apreciarlo en la simulación).

⁵¹⁵ En el apéndice A (epígrafe 9) se explica cómo puede el usuario distribuir diferentes estrategias en las celdas que componen el mundo, a fin de poder crear las configuraciones espaciales que se consideren más oportunas para un determinado experimento.

⁵¹⁶ Skyrms, 2004, p. 39

⁵¹⁷ *Cfr.* Skyrms, 2004, p. 32

En la segunda (**Stag Hunt_p39_50_BestStrategy_Moore24.dpt**), con vecindarios de Moore ampliados, ni siquiera se forman islas de cazadores de venado, sino que los cazadores de liebre invaden rápidamente toda la población.

La notable conclusión que podemos sacar es que *los cazadores de venado sobreviven mejor en vecindarios reducidos* (von Neumann = 4), mientras que en vecindarios más amplios (Moore = 8, Moore extendido = 24) se extinguen rápidamente. Todo esto, hay que repetir, empleando la regla de transición Utilidad esperada, que es la que proponía Skyrms para estos experimentos.

Atendiendo a la última observación de Skyrms acerca de la sensibilidad a la configuración de los pagos, ocurre en efecto que si por ejemplo disminuimos de 2 a 1,5 el pago correspondiente a LL, entonces sí tiende a imponerse la estrategia “cazar venado”, bien que con disposiciones espaciales muy diversas, cuya eventual estabilidad resulta difícil de analizar (a su vez, estos resultados varían según el tipo de vecindario que escojamos). Por otra parte, si disminuimos LL a 1, y seleccionando el vecindario de von Neumann, los cazadores de venado se extienden por todo el mundo, aunque permanecen unos pocos individuos aislados que cazan liebres. Una última posibilidad que cabe señalar consiste en seleccionar $LV = 1$ y $LL = 2$ (archivo **Stag Hunt_p39_50_BestStrategy_vN_1.dpt**): más que como islas o rectángulos, aquí ocurre a veces que los cazadores de liebre se disponen en franjas, impidiendo que los cazadores de venados se encuentren “por arriba y por abajo” del mundo. El análisis de las causas precisas (estructura espacial, matriz de pagos, tipo de regla) que determinan estos patrones resulta extremadamente complejo, aunque ciertamente merece la pena contemplarlos.

4.7.4 Simulaciones con el modelo ampliado de *Bichos*

Paso ahora a enumerar los resultados obtenidos con otra serie de simulaciones, en las cuales he contado con todas las estrategias (algoritmos) que permite *Bichos*, así como con diversos tipos de vecindarios y reglas de transición. También he incluido la posibilidad de iteraciones, a fin de poder concluir qué tipo de influencia (caso de haberla) tiene la formación de reputaciones en la evolución de este modelo que la teoría de juegos proporciona para el análisis del contrato social.

- Se han realizado dos series de pruebas. En una, los pagos son los especificados en los experimentos de Skyrms, es decir, los cazadores de liebres obtienen *siempre* 2 (equilibrio riesgo-dominante). Recordemos que esta disposición en los pagos favorece el equilibrio de cazadores de liebres. En la segunda, el pago que obtiene un cazador de liebres al interactuar con un cazador de venados (LV) se ha reducido de 2 a 1 (en el Apéndice B y en la hoja **Stag_Hunt_02.xls** pueden verse los resultados para cada caso distribuidos en dos columnas).
- La reproducción será siempre asexual, es decir, sólo consideraremos un modelo de evolución cultural, regido por procesos de imitación.
- Las iteraciones del juego entre un par de jugadores serán 1, como en los modelos de Skyrms, o 5, para incorporar posibles juegos de reputación en la simulación, aprovechando la variedad de estrategias sensibles que permite *Bichos* (recordemos que en el modelo de Skyrms sólo hay sólo dos estrategias: cazar siempre liebre, o cazar siempre venado).
- Hay mutaciones, con una frecuencia de 5 por 1000 en cada generación. En una mutación, varía aleatoriamente alguno de los 32 parámetros que definen un algoritmo, con lo cual es posible la generación espontánea de nuevos patrones de comportamiento⁵¹⁸.
- El rango de opciones entre las que puede escoger un agente artificial no se reduce sólo a cooperar (cazar venado) o defraudar (cazar liebre), sino que se extiende al continuo comprendido entre esos valores extremos. Se trata, pues, de una versión *continua* de la caza del venado, semejante a lo que habíamos hecho con el DP⁵¹⁹.

De la combinación de todas estas variables resulta un total de 156 experimentos diferentes, cada uno de los cuales se ha verificado tres veces. En aquellas ocasiones en las que se apreciaban diferencias notables en diferentes pruebas del mismo experimento, el número de comprobaciones se ha elevado a seis. En la tabla de resultados he subrayado los experimentos cuyos resultados han sido muy irregulares (sólo 17)⁵²⁰. Estas irregularidades han de entenderse en relación a las siguientes conclusiones generales que pueden extraerse de los diversos experimentos:

⁵¹⁸ Sobre este tema véase el apéndice A, epígrafe 6.

⁵¹⁹ *Cfr. supra* 4.3.1.

⁵²⁰ Véase el apéndice B. La misma tabla está en el archivo **Stag_Hunt_02.xls** (los resultados irregulares aparecen allí marcados en color naranja).

- 1) Los pagos que definen el juego (manteniéndonos siempre en la estructura propia de “la caza del venado”) es la variable cuya modificación da lugar a las mayores diferencias en el tipo de estrategia que resulta evolutivamente estable. Si $LV = 1$, en 231 de 234 experimentos realizados la estrategia evolutivamente estable acaba siendo siempre cazar el venado (con valores muy próximos a 1, aunque algo inferiores si se usa la regla Replicator dynamics). En cambio, si $LV = 2$, el carácter riesgo-dominante del equilibrio LL se hace muy patente, y el grado de cooperación global de las poblaciones tiende a 0 (= cazar liebre), excepto bajo las siguientes circunstancias: emparejamientos fijos y que la regla de transición *no* sea Replicator dynamics. Una vez más, la interacción en grupos bien definidos promueve las conductas que consideraríamos cooperativas (en este caso, para hablar con más propiedad, diremos que se consigue más fácilmente la *coordinación* en el equilibrio VV). Y nuevamente podemos concluir que Replicator dynamics dificulta este tipo de equilibrios, más acordes con las nuestras intuiciones morales.
- 2) Como queda indicado en el punto (1), las reglas MaxiMax y Utilidad esperada conducen a dinámicas evolutivas mucho más favorables, desde el punto de vista de la propia maximización de la utilidad, que Replicator dynamics. Esta diferencia es menor cuando $LV = 1$, aunque muy reconocible por la regularidad con que se manifiesta en las simulaciones (aproximadamente 0,8 frente a 1). Además de identificable, la diferencia se vuelve mucho mayor cuando $LV = 2$ (casi siempre 0, aunque según hemos mencionado, aquí interviene de manera decisiva el componente territorial de las interacciones).
- 3) Otro aspecto a destacar es que pese a las estrategias condicionales que puede generar la simulación *Bichos*, el carácter translucido dado por la capacidad de observar y crear reputaciones no tiene ninguna influencia en la estabilidad de uno u otro equilibrio. Si ejecutamos unas cuantas simulaciones y observamos qué tipo de algoritmos acaban estabilizándose en la población, encontraremos a partes iguales estrategias sensibles y otras que repiten siempre el mismo tipo de conducta. Las primeras se pueden reconocer por sus curvas de coordinación, que crecen con formas más o menos regulares hacia la derecha ($y = x$). Esto manifiesta el hecho de que en este juego se trata precisamente de coordinar respuestas, esto es, si hemos observado que el otro jugador tiende a hacer x , a nosotros (y) nos convendrá hacer lo mismo. El segundo tipo de estrategias, por el contrario, tiene una función de coordinación poco variable, siempre muy próxima al tipo $y = cte$. Esta constante tenderá a ser 0 o 1, dependiendo del tipo de equilibrio que sea más favorecido por las otras condiciones de la simulación (puntos 1 y 2). Ahora

bien, aunque encontramos ambos tipos de algoritmos, la translucidez aportada por las iteraciones no desempeña ningún papel. Y la prueba de ello está en los puros resultados: atendiendo a los números de la tabla, observamos que prácticamente no hay diferencias entre los experimentos sin iteraciones y aquellos en los que cada jugador interactúa 5 veces con cada vecino. (Recordemos que en el DP y en Gallina el carácter iterado del juego sí hacía una diferencia, promoviendo las conductas cooperativas).

- 4) Más que una conclusión, este último punto es una aclaración acerca de un aspecto que no puede apreciarse en las meras cifras incluidas en la tabla, y que si no es mencionado puede inducir a error. Los números expresan el grado de cooperación media (cazar el venado = 1) a lo largo de 1000 generaciones. En todos los casos, ya tiendan los equilibrios a poblaciones jugando 0 o 1, la estabilidad se alcanza muy rápidamente, al cabo de unas 20 generaciones. Por ejemplo, en el caso de poblaciones que tienden al equilibrio VV, si el nivel medio de cooperación es menor que 1, ello sólo se debe a que en las primeras generaciones hay todavía muchos individuos empleando estrategias que posteriormente serán eliminadas, y que en conjunto disminuyen el valor de este promedio. En la serie de simulaciones donde el pago $LV = 1$ y se aplica la regla Replicator dynamics, vemos que la media de cooperación está en torno a 0,8. Sin embargo, observando el desarrollo puntual de la simulación, se aprecia que la estabilidad final se alcanza con estrategias que escogen valores próximos a 1. Si la media se queda en sólo 0,8 es porque con Replicator dynamics el curso hacia el equilibrio VV es algo más lento, postergando algo más la eliminación de estrategias que no se adaptan a este equilibrio cooperativo.

4.7.5 Consideraciones finales: la salida del estado de naturaleza sin conocimiento común de la racionalidad

En *Stag Hunt* Skyrms incorpora explícitamente el papel que la territorialidad juega en la evolución de diferentes tipos de conducta. Esta influencia ya había sido considerada por Axelrod en relación con el DP y por el propio Skyrms en *Evolution of Social Contract*. Sin embargo, se trataba de aproximaciones que no llegaban a profundizar en todas sus posibilidades. Además, en *Stag Hunt* Skyrms aborda con más cuidado la cuestión acerca de cómo diversos tipos de dinámica (reglas de transición) pueden conducir el curso de la evolución por caminos diferentes. Por mi parte, con *Bichos* e intentado reproducir los modelos y los resultados propuestos por Skyrms, siendo la coincidencia muy amplia. En los pocos casos en que los resultados no han sido los mismos, he intentado encontrar la causa de la divergencia en condiciones que Skyrms tal vez

no especificaba con suficiente precisión. En este sentido, estos resultados dispares han servido para mostrar la gran sensibilidad de estos modelos a diferentes condiciones iniciales y, en la Caza del venado, muy especialmente a las proporciones entre los *riesgos* que asume un jugador al intentar alcanzar uno u otro de los dos equilibrios de Nash que tiene este juego.

Esta situación representada en la Caza del venado, mucho menos estudiada que el DP, la presenta Skyrms como modelo del proceso evolutivo que podría justificar “empíricamente” la propuesta clásica de Hobbes acerca de la racionalidad del contrato social. La estructura del juego plantea ciertamente la condición —que aquí destaco en cursiva— expresada por Hobbes en la que denomina segunda ley de la naturaleza:

Un hombre debe estar deseoso, *cuando los otros lo están también*, y a fin de conseguir la paz y la defensa personal hasta donde le parezca necesario, de no hacer uso de su derecho a todo, y de contentarse con tanta libertad en su relación con los otros hombres, como la que él permitiría a otros en su trato con él⁵²¹.

En efecto, este imperativo condicional expresa la estabilidad, y por lo tanto la racionalidad instrumental, de mantenerse dentro del contrato social, rasgo del que carece la solución cooperativa en el DP (a menos que las interacciones se repitan indefinidamente).

La pregunta que plantea esta situación, y que Skyrms responde desde una perspectiva evolutiva, es cómo llegar a coordinar la selección del equilibrio VV (contrato social) en lugar de LL (estado de naturaleza).

En principio da la impresión de que habiendo CK2 (ambos jugadores son maximizadores de la utilidad esperada) esto debía ser suficiente para que dos jugadores se coordinen, sin necesidad de comunicarse, en el equilibrio cooperativo (VV). Sin embargo, según Bicchieri este conocimiento común no garantiza la obtención del equilibrio VV. Además tiene que ser CK4 que ambos jugadores seleccionarán el equilibrio que es óptimo de Pareto, esto es, aquél que ofrece pagos mayores a todos, sin que alguno reciba pagos menores. En el caso de Skyrms, la idea de que ambos equilibrios son en principio viables podría estar sustentada por el contexto evolutivo de su planteamiento. Si se tratase de formas simples de vida, o de algoritmos en un ordenador, no hay por qué suponer en estas entidades ningún tipo de conocimiento común (a menos que incorporemos explícitamente este conocimiento en el programa informático). Pero incluso aunque no supongamos un *conocimiento común* de la racionalidad, sí podemos contar con ésta. La interpretación más adecuada es que los jugadores del modelo son *racionales*, pero no saben si los demás lo son⁵²². Puestas las cosas así, no es menos racional decantarse por cazar la liebre que por cazar el venado; es una cuestión relativa a la confianza que un jugador tenga en la

⁵²¹ Hobbes, 2004, cap. XIV.

⁵²² *Cfr.* Skyrms, 2004, p. 3

racionalidad del otro. En *Bichos* los agentes artificiales se ajustan a estas condiciones. Son capaces de reconocer cuál es la opción que maximizaría la función de utilidad del otro (cazar el venado) y pueden percatarse igualmente de que esta estrategia maximizaría *también* la función de utilidad propia⁵²³. Sin embargo, no saben nada acerca de si los demás están también al tanto de este hecho. Una vez más, la posibilidad de que los agentes artificiales reconozcan cómo optimizar estos resultados no significa que siempre lo hagan así. La actualización de esta potencialidad es el resultado del proceso evolutivo que el modelo simula.

Las simulaciones nos muestran que la evolución del contrato social y la salida del estado de naturaleza es posible en un entorno donde no se supone ni una racionalidad fuerte ni una moralidad siquiera mínima. En los casos en que sí llega a surgir una disposición maximizadora de la utilidad, tampoco hay un conocimiento común de esta racionalidad, no obstante lo cual, también se pueden coordinar equilibrios óptimos. Y por último, dicha estabilidad se alcanzan sin que en ningún caso exista la condición adicional que Bicchieri exige para seleccionar esos equilibrios (CK4). Así, si en un marco tan restringido es posible salir del estado de naturaleza, *a fortiori* quedaría explicado que agentes como nosotros también hayan salido, conocedores de su racionalidad común y capaces además de comunicarse para coordinar resultados óptimos.

⁵²³ Esta idea de maximizar la función de utilidad *ajena* resulta extraña a la TJ convencional, y su justificación fue expuesta en 2.1.5. Se puede entender en términos más ortodoxos expresándola como *incluir* la función de utilidad ajena en la función de utilidad propia.

5. Evolución y filosofía moral

5.1 Evolución natural y reconstrucción evolutiva de las normas

5.1.1 Objetivo de la reflexión

Un enfoque evolutivo —ya sea se trate de evolución biológica o cultural— explica en términos naturales ciertos fenómenos típicamente morales: conductas cooperativas, capacidad de tener en consideración los intereses ajenos, sentido de la justicia distributiva, etc. En este último capítulo quisiera recapitular y esbozar una reflexión sobre el impacto que el argumento desarrollado anteriormente puede tener sobre el fundamento de la moralidad. En este intento no me separaré del concepto de moralidad que hemos tomado de Gauthier, correspondiente a la tradición empirista que tiene sus antecedentes en Hobbes, Locke y Hume. Por otra parte, el aspecto de esta reflexión que cuestiona la moralidad, puede plantearse al estilo de Nietzsche, como una pregunta acerca de si explicar el fundamento natural de la moralidad acaba con ella como sistema normativo⁵²⁴. Como queda dicho, se trata ante todo de una tentativa, orientada a situar la investigación en relación con el problema esencial de la normatividad de la moralidad, esto es, la cuestión de si y por qué un sistema moral obliga *racionalmente* (al margen de ciertos sentimientos que de hecho nos obligan emocionalmente).

Según procuraré mostrar, parte de la respuesta a esta pregunta consistirá en mostrar que la moralidad no es sólo un “engaño” de los genes para perpetuarse a través de los organismos que habitan, sino que, precisamente a fin de que la moralidad sea adaptativamente eficiente, su fenomenología ha de ser la de algo objetivo⁵²⁵. Esto requiere a su vez ciertas aclaraciones relativas a qué significa que la moralidad sea algo “objetivo”, pues en principio no se trata de juicios descriptivos, sino de un sistema de normas. En este sentido, pues, la objetividad no se puede referir a un carácter *verdadero o falso* —que no puede ser atribuido a un imperativo—, sino que consiste más bien en que el sujeto a quien va dirigido el imperativo *tenga a éste por vinculante*.

Estas cuestiones relativas a hechos y a sus explicaciones pueden tener sin embargo implicaciones normativas, específicas de la ética, pues afectan a la fundamentación última de la moralidad —al menos como réplica a la deslegitimación que podría implicar el descubrimiento de sus orígenes. Habrá que examinar también la posibilidad de que un estudio descriptivo y explicativo del fenómeno moral no diga nada, ni a favor ni en contra, relativo a la justificación

⁵²⁴ Las ideas de Nietzsche no serán esenciales a esta argumentación, sino simplemente una referencia al exponente paradigmático de este ejercicio consistente en cuestionar la fuerza normativa de la moralidad mediante la indagación de sus orígenes.

⁵²⁵ Empleo el término “fenomenología” siguiendo a Ruse (1995, p. 677) es decir, en el sentido mínimo de que la moralidad se nos aparece como algo que ejerce sobre nosotros una fuerza motivacional.

de su carácter normativo. De ser así, justificar la normatividad de la moral sigue siendo una tarea filosóficamente necesaria; tarea que acaso podría mostrarse imposible, pero que en cualquier caso no decidiría su inviabilidad por relación a sus orígenes fácticos. Finalmente, cabría aún contemplar el hipotético caso de que un conocimiento natural de la moralidad, lejos de socavar sus cimientos, contribuya de algún modo a fortalecer el edificio normativo, llevando a cabo este intento sin derivar juicios de valor a partir de juicios de hecho. Se trata sin duda de una tarea mucho más ambiciosa y complicada que las dos primeras, pero no estará de más considerarla, siquiera sea como un ejercicio negativo, para descartar el tipo de argumentos que no puede presentar una ética naturalista.

5.1.2 Un punto de partida desde la biología y la teoría de juegos

La biología evolutiva puede aclarar las cuestiones de hecho más elementales, como, en primer lugar, las condiciones en las que habría surgido la racionalidad humana, entendida únicamente como racionalidad instrumental, que parece el sistema normativo más básico, y por ello más fácilmente aceptable como esquema explicativo de la acción humana⁵²⁶.

Evidentemente, si además nos remontamos a las formas más simples de vida, este rasgo maximizador que encontramos en organismos tan primitivos como virus⁵²⁷ no puede entenderse como una conducta intencional. En cualquier caso, aceptado lo que llamábamos heurística de la personificación y la teoría de juegos en su vertiente *evolutiva*, los experimentos virtuales de los cuales nos hemos servido en el capítulo previo son una confirmación de que la racionalidad es fruto de la evolución, al igual que la bipedestación.

Hasta aquí, pues, todavía no hemos comenzado una indagación sobre el origen de la moralidad. El siguiente paso, más interesante, es plantear la misma cuestión pero en relación con las condiciones que propiciaron el surgimiento y estabilidad de conductas que representan una *restricción* de aquella maximización directa. Esta segunda pregunta representa un desafío mayor, pues si los beneficios de la racionalidad resultan evidentes, no puede decirse lo mismo de la moralidad. Prueba de ello es que toda la tradición de la filosofía moral occidental, hasta Kant, ha asumido —al menos tácitamente— que los preceptos de la moralidad han de servir en último término a la promoción de nuestros intereses.

⁵²⁶ Cfr. Gauthier, 1991, pp. 19 – 20

⁵²⁷ Cfr. Nowak y Sigmund, 1999

Y si hacen falta complejas construcciones teóricas para justificar este objetivo, entonces no es en modo alguno obvio que, en efecto, los mandatos del deber puedan cumplir esa función. Una teoría que desligue la moralidad del interés propio —como la de Kant, por ejemplo— se enfrenta a la difícil tarea de mostrar que existe en absoluto algún otro tipo de motivación racional que no procede de dicho interés. El desarrollo de esta discusión lo veremos hacia el final de este capítulo, en el epígrafe 5.2.3.

Volviendo a situar la cuestión en un marco darwinista, los modelos matemáticos que nos proporciona la teoría de juegos evolutiva, unida a las simulaciones con ordenador (en especial la desarrollada para este trabajo), nos permiten reconocer cuáles son esas condiciones que favorecen las restricciones que asociamos naturalmente a la moralidad. En un primer momento se trata sólo de aquellas restricciones que podrían justificarse en vistas al interés del individuo que las aplica, es decir, una razón semejante a la que proporciona Hobbes (en sentido amplio cualquier enfoque contractualista) para justificar la creación de una sociedad civil o acordar en general una limitación de esa búsqueda del interés individual (Gauthier).

Adoptar un marco de discusión cercano a la biología podría suscitar la objeción de que las condiciones que favorecen la aparición de restricciones morales se interpretan como condiciones de hecho, temporalmente anteriores y causalmente conectadas con la aparición de la moralidad. Pero no es así. Se trata simplemente de considerar lo que tradicionalmente se ha denominado “estado de naturaleza”, como la reconstrucción racional de la autoridad (en este caso moral) a partir de una autoridad indiscutida: la de la razón individual maximizadora. Ni siquiera Hobbes, en el origen de la reflexión sobre esta hipótesis, lo entiende como algo que haya sucedido realmente. Pese a la clara dimensión temporal que implica el concepto de evolución, tampoco aquí hay motivo alguno para atribuir una facticidad al estado de naturaleza. No sólo en lo relativo a la especie humana o sus ancestros más próximos, sino también en lo que respecta a las primeras formas de vida, determinar *cuándo* surgieron las primeras formas de cooperación, es una cuestión empírica cuya resolución es virtualmente imposible. En rigor, se podría afirmar que ya las primeras moléculas orgánicas que flotaban en los mares hace unos 3500 millones de años fueron capaces de salir del estado de naturaleza al agruparse entre sí⁵²⁸. Ciertamente, en una simulación se puede generar un modelo de un estado semejante (como de hecho ha sido el caso en muchos de los experimentos con *Bichos*). Pero se trata precisamente de un modelo cuyo propósito es probar que si partiendo de un marco sin moralidad (sin siquiera racionalidad) es posible superar esta situación inicial, entonces *a fortiori* serían capaces de ello seres racionales, tal como argumenta Hobbes.

⁵²⁸ Cfr. Dawkins, 1989, pp. 16 – 17.

La “ontología flexible”⁵²⁹ de los modelos informáticos, lejos de representar un problema de vaguedad o falta de precisión, permite movernos fácilmente entre varios niveles, destacando las semejanzas y las *diferencias* entre ellos. Esta flexibilidad viene propiciada por la circunstancia de que no necesitamos saber qué tipo de intenciones o estados mentales tienen los agentes artificiales para observar con precisión qué decisiones toman y qué tipo de estrategias evolucionan. Siempre he insistido en que no cabe atribuirles ningún tipo de estados mentales. Sin embargo esto no debe forzarnos a limitar la referencia del modelo a entidades *no intencionales*, pues el mismo tipo de consideraciones nos conduce fácilmente a una postura solipsista que también anularía cualquier reflexión sobre la racionalidad práctica propia de nuestra especie: yo sólo conozco mis estados mentales, y en relación con otros individuos sólo percibo un hardware, para el cual a lo sumo puedo concebir un software que represente la secuencia de “on-offs” que cabría rastrear en ciertas conexiones neuronales.

Las simulaciones que hemos utilizado pueden ser un modelo apropiado de tres tipos de procesos diferentes, *analizables todos ellos en términos puramente descriptivos y explicativos*.

1) Simple evolución biológica, donde la adaptación del más apto simplemente *sucede*; ni siquiera podría verse en este nivel algo así como cierto conato a permanecer en el ser, como el que Hobbes señala al introducir la primera ley natural⁵³⁰, pues ese mismo impulso sería ya fruto de la selección natural. 2) Evolución cultural, con agentes racionales maximizadores y con capacidad de imitar, en condiciones de *decidir* cierto orden, pero aún sin ningún tipo de moralidad. Éste sería un nivel al que cabría aplicar la conocida afirmación de Kant, según la cual “el problema del establecimiento del Estado tiene solución, incluso para un pueblo de demonios, con tal de que tengan entendimiento”⁵³¹. 3) Evolución cultural, con el mismo tipo de agentes que en (2) pero con la posibilidad, además, de que sus conductas observadas sean fruto de algún tipo de disposición genuinamente moral, irreductible a la sola prudencia. Ahora bien, habrá que discutir si esta tercera posibilidad es siquiera significativa.

El paso del nivel (1) al nivel (2) es relativamente sencillo, pues la racionalidad maximizadora es una hipótesis que por su poder explicativo (al menos en un enfoque economicista) no resulta problemático suponer allí donde sea necesario.

⁵²⁹ Empleo esta expresión para condensar la propuesta de Dennett en *Freedom Evolves*, donde considera el autómatas celular como modelo de los diversos niveles que pueden reconocerse en el análisis de un sistema dinámico. La tesis básica de Dennett es que un todo puede ser más libre que las partes que lo componen. Para el desarrollo de esta idea propone distinguir los niveles *físico*, de *diseño*, e *intencional*. En el modelo informático el nivel físico correspondería a los pixels o celdas que se activan o desactivan. El nivel de diseño aparece al considerar las estructuras estables compuestas por aquellas celdas individuales. Por último, el nivel intencional cobra su significado cuando dichas estructuras, manteniéndose estables, muestran también una regularidad de variaciones que podrían *interpretarse como* el resultado de propósitos o acciones. Cfr. Dennett, 2004, pp. 36 – 51.

⁵³⁰ Cfr. Hobbes, 2004, cap. XIV

⁵³¹ Kant, 2000, A59 / B60

Desde una perspectiva evolutiva, la transición de (2) a (3) podría entenderse como el “resto” de lo que queda cuando la reflexión va removiendo todas las circunstancias que representan *buenas razones* instrumentales para actuar. En este punto concluiría el análisis puramente descriptivo, y a partir de aquí la tarea filosófica consistirá en analizar si ese residuo contiene por sí mismo algún núcleo racional normativo, independientemente de su origen en los niveles (1) o (2).

Dicho de otro modo, se tratará a continuación de dilucidar si las disposiciones cooperativas reconstruidas evolutivamente pueden contener algún tipo de normatividad genuinamente moral, es decir, irreductibles a la maximización de la utilidad individual (al margen de que ésta ya contenga, sentimientos de empatía mediante, algunos intereses de otros individuos).

Incluso si las conclusiones de la investigación nos dejasen con el desalentador resultado de que no existe la moralidad genuina, hay que comenzar contando con ella al menos como posibilidad. Comenzaré por el argumento característico de la sociobiología, que admite un “altruismo” biológico, al cual nos podemos referir entre comillas⁵³², y un altruismo psicológico. Veremos inmediatamente que aunque cabe incluir el “altruismo” en lo que habitualmente entendemos por *prudencia*, todavía es pronto para identificar el altruismo psicológico con la auténtica moralidad. El paralelismo no se puede establecer aún porque el “altruismo” está referido a los genes o a la especie —cuestión secundaria para nuestra investigación— mientras que el altruismo psicológico se encuentra al nivel del individuo. Veamos como delimitan Sober y Wilson estas nociones:

A behaviour is said to be altruistic in the evolutionary sense of the term if it involves a fitness cost to the donor and confers a fitness benefit on the recipient. A mindless organism can be an evolutionary altruist. It is important to recognize that the costs and benefits that evolutionary altruism involves come in the currency of reproductive success. If we give you a package of contraceptives as a gift, this won't be evolutionary altruistic if the gift fails to enhance your reproductive success. [...]

The concept of psychological altruism is, in a sense, the mirror image of the evolutionary concept. Evolutionary altruism describes the fitness effects of a behaviour, not the thoughts or feelings, if any, that prompt individuals to produce those behaviours. In contrast, psychological altruism concerns the motives that cause behaviour, not its actual effects. If your treatment of others is prompted by your having an ultimate, noninstrumental concern for their welfare, this says nothing as to whether your actions will in fact be beneficial. [...] Psychological egoists who help because this makes them feel good may make the world a better place. And psychological altruists who are misguided, or whose efforts miscarry, can make the world worse.

⁵³²Adopto esta convención siguiendo a Ruse (1995, pp. 669 – 670)

Although the two concepts of altruism are distinct, they often run together. People sometimes conclude that if genuine evolutionary altruism does not exist in nature, then it would be mere wishful thinking to hold that psychological altruism exists in human nature. The inference does not follow.⁵³³

No sólo la inferencia no se sigue, sino que tendremos ocasión de ver —siguiendo una tesis de M. Ruse— que para que el “altruismo” biológico sea en absoluto posible, es necesario el auténtico altruismo. Conviene notar que si bien E. Sober y D. S. Wilson plantean el altruismo en términos psicológicos, atendiendo a las *motivaciones* de los agentes (eventualmente orientadas al bienestar de otros) lo diferencian en cualquier caso del egoísta psicológico, esto es, el egoísmo disfrazado de altruismo que siempre ensombrece este tipo de planteamientos. Según argumenté en la sección 2.1, entiendo que se trata meramente de una amenaza semántica. Si estipulamos que todo lo que hacemos es “por sentirnos bien”, entonces ciertamente será imposible el altruismo (y todos los conceptos vinculados a la moralidad). En el marco de la teoría de juegos esto tiene su correlato en la afirmación de que siempre maximizamos nuestra función de utilidad, y que en el mejor de los casos, incorporamos los intereses ajenos en dicha función. Si de todos modos nos viésemos obligados a aceptar estas definiciones, y a la vez quisiésemos desligar la moralidad de cualquier forma refinada de egoísmo, todavía podríamos negar un carácter moral a cualquier consideración sobre intereses o fines —sean propios o ajenos— para adentrarnos en una concepción de la razón práctica como la que propone Kant. Sin embargo, espero mostrar que también el utilitarismo, sin necesidad de escapar de la naturaleza, ofrece una idea de moralidad que no se deja reducir a mero “altruismo”.

Antes de proseguir quisiera también hacer una breve aclaración sobre el contexto en el que Sober y Wilson presentan estas ideas. Se trata de una discusión iniciada en los años 60 acerca de la necesidad y la idoneidad de recurrir al concepto de “selección de grupos” (*group selection*) a la hora de explicar ciertos comportamientos “altruistas” que se observan en la naturaleza. Aunque Darwin ya había sugerido este concepto en *The Descent of Man* (1871) para dar cuenta de estos fenómenos anómalos, el resultado de este debate en los años 60 fue el completo abandono de la selección de grupos como herramienta explicativa. Los nuevos modelos matemáticos de Hamilton y Maynard Smith cubrían estos mismos hechos contando con el solo individuo como unidad de la selección natural. El golpe definitivo a la selección de grupos vendría una década más tarde, cuando Dawkins propone una entidad aun más básica, el gen, como el auténtico objeto de la selección natural. *Unto the Others* es una rehabilitación, veinte años más tarde, de la selección grupal como concepto apropiado para explicar este hecho del “altruismo”. Hago esta breve aclaración para señalar que a efectos de lo que discutiremos en

⁵³³ Sober y Wilson, 2000, pp. 185 – 186.

este capítulo, no es relevante cuál de las propuestas (grupos, individuos o genes) tiene un mayor poder explicativo. En cualquiera de los tres casos, el origen del altruismo se encontraría en la naturaleza, sin llegar todavía al tipo de consciencia que al menos como hecho psicológico caracteriza a la moralidad. Así pues, las dificultades que un enfoque evolutivo puede presentar a una justificación de la moralidad, son las mismas, independientemente de esos detalles de la teoría.

Aunque haya discrepancias en estos pormenores, el enfoque evolutivo tiene sin duda un valor explicativo; que incluso en la práctica puede ayudar a un diseño de instituciones tales que a los agentes racionales les resultase más rentable ser cooperativos⁵³⁴. Pero este tipo de prescripciones políticas todavía no nos dice nada desde el punto de vista de una teoría moral que proporcione buenas razones para restringir los dictados maximizadores de nuestra racionalidad instrumental. El reto de este planteamiento, si quiere tener alguna relevancia para la filosofía moral, es aportar algún tipo de normatividad, además de la mera descripción, explicación o incluso predicción de determinados fenómenos. Y se trata de un reto porque al menos desde Hume sabemos que no es lógicamente lícito derivar juicios de valor a partir de juicios de hecho.

Los siguientes epígrafes están dedicados a la historia de esta “prohibición”, analizando los diversos modos en que un enunciado prescriptivo puede derivarse de otro meramente descriptivo. Nos ocuparemos también del origen de la falacia naturalista como denominación dada a este tipo de deducción ilegítima. Este recorrido ha de servir para identificar una serie de problemas a los que una ética naturalista debe enfrentarse. Una vez concluido este repaso, a partir del epígrafe 5.2.3 examinaremos si y cómo pueden superarse estas dificultades. También veremos qué puede aportar la perspectiva evolutiva a una teoría utilitarista. En cuanto al planteamiento de Kant, sin duda las conexiones que puedan establecerse con el mismo sólo servirían para rechazarlas, inmediatamente a continuación, por su condición de materiales y *a posteriori*, ajenas al ámbito de la moralidad (en sentido kantiano). Sin embargo, este examen no será inútil, y no sólo como cuestión histórica, sino también para precisar el sentido en que la moralidad es un *hecho*, si no de la razón pura, sí al menos de la naturaleza.

⁵³⁴ Por ejemplo, consideremos la siguiente reflexión de Singer: “¿Cómo pueden aprender de Darwin los reformadores? Cuando se le entrega a tallistas una pieza de madera para que hagan un cuenco de madera, no comienzan simplemente por ir tallando de acuerdo con un diseño dibujado antes de ver la madera. En lugar de eso, examinan el material que van a trabajar y modifican el diseño con objeto de adecuarlo al veteado de la madera. Los filósofos de la política, y los revolucionarios o reformadores que los han seguido, muy a menudo han elaborado su sociedad ideal, o sus reformas, y han buscado aplicarlas sin saber demasiado de los seres humanos que deben llevar a cabo y convivir con sus planes. [...] En lugar de eso, quienes pretendan dar nueva forma a la sociedad deben conocer las tendencias inherentes a los seres humanos y modificar sus ideales abstractos con objeto de adecuarlos a ellas” (Singer, 2000, p. 58). Una argumentación similar la encontramos en Dennett (2004, p. 280), y también en Kant (2000, A59 / B60), aunque obviamente sin referirse a Darwin: “[...] averiguar cómo se ha de utilizar ese mecanismo natural en el hombre, para disponer las contrarias y hostiles inclinaciones de tal manera que todos los individuos se sientan obligados por fuerza a someterse a las leyes y tengan que vivir por fuerza en pacíficas relaciones, obedeciendo a las leyes”.

5.2 Ser y deber ser

5.2.1 Hume

En uno de sus pasajes más citados, Hume denunció el abuso lógico que supone pasar deductivamente de enunciados descriptivos (*is*) a enunciados normativos (*ought to be*). Desde entonces, la diferencia fundamental entre ambos tipos de predicados se ha convertido en un lugar común, aunque no por ello menos cierto, o por lo menos no menos digno de atención a la hora de discutir cuáles puedan ser los fundamentos últimos de la moralidad:

In every system of morality which I have hitherto met with, I have always remark'd, that the author proceeds for some time in the ordinary way of reasoning, and establishes the being of a God, or makes observations concerning human affairs; when of a sudden I am surpriz'd to find, that instead of the usual copulations of propositions, *is*, and *is not*, I meet with no proposition that is not connected with an *ought*, or an *ought not*. This change is imperceptible; but is, however, of the last consequence. For as this *ought* or *ought not*, expresses some new relation or affirmation, 'tis necessary that it should be observ'd and explain'd; and at the same time that a reason should be given, for what seems altogether inconceivable, how this new relation can be a deduction from others, which are entirely different from it.⁵³⁵

Siguiendo la denominación que le diera Hare, podemos llamar “ley de Hume” a este principio según el cual no se pueden derivar enunciados normativos a partir de enunciados descriptivos⁵³⁶.

Ahora bien, conviene notar que el propio Hume incumple esta ley, pues en su propio sistema moral efectúa este tránsito del *ser* al *deber ser*. Así, pues, cabe interpretar que Hume no niega la posibilidad absoluta de este tipo de deducciones, sino que simplemente destaca la necesidad de justificarlas convenientemente. Hay, en efecto, un modo lícito de hacerlo, y MacIntyre —de cuyo análisis me valdré en parte para esta argumentación— entiende que

we can connect the facts of the situation with what we ought to do only by means of one of those concepts which Hume treats under the heading of the passions and which I have indicated by examples such as wanting, needing, and the like.⁵³⁷

Esta conexión a través de verbos que denotan un deseo o necesidad es perfectamente lógica, y responde en último término al silogismo práctico de Aristóteles⁵³⁸. En este sentido, pues, la conclusión práctica a partir de premisas factuales es legítima, y de hecho es coherente con el papel que Hume reserva a la razón como “esclava de las pasiones”, por decirlo con su

⁵³⁵ Hume, 1978, Libro III, parte I, sección I.

⁵³⁶ Cfr. Hare, 1952, pp. 32 – 49.

⁵³⁷ MacIntyre, 1969, p. 466

⁵³⁸ Cfr. Aristóteles, 1978, 434a 17 – 19.

célebre expresión. La función secundaria que aquí tiene la razón práctica la pone especialmente de manifiesto Kant al afirmar que un razonamiento de este tipo equivale a un análisis de puras causas y efectos, para el cual no necesitaríamos más que el mero conocimiento de la naturaleza, sin asignar ninguna esfera autónoma de la razón práctica.

Si bien no toca a la dimensión propiamente moral de la razón práctica, este tipo de deducción, no sólo es lógicamente lícito, sino que incluso podría verse como lógicamente necesario, o según lo expresa Kant:

Cómo sea posible un imperativo de la habilidad no necesita seguramente de estudio especial. Quien quiere el fin, quiere también [...] el medio indispensablemente necesario para él que está en su poder. Esa proposición es, en lo que atañe al querer, *analítica* [...].⁵³⁹

En la *Crítica del Juicio* Kant destaca incluso con más contundencia no sólo la posibilidad, sino aun la necesidad, con la que se puede pasar del “ser” al “deber ser” sin incurrir en falacia alguna. Evidentemente no lo plantea en los términos que venimos manejando, pero sí podemos observar cómo los *imperativos* hipotéticos (reglas técnico-prácticas) acaban aquí convertidas en la mera necesidad que podemos encontrar en la naturaleza. Lo que hay realmente es el paso de un “es” a otro “es”, escondido el segundo bajo la forma de un “tener que”. Así, pues, este tipo de inferencia también es válido, pero no es la clase de deducción que nos puede conducir hasta un imperativo propiamente moral a modo de conclusión.

Todas las reglas técnico-prácticas (es decir, las del arte y de la habilidad en general, o también de la prudencia), [...] deben contarse sólo como corolarios de la filosofía teórica, pues ellas conciernen tan sólo a la posibilidad de las cosas según conceptos de la naturaleza, a la cual pertenecen no sólo los medios que en la naturaleza pueden encontrarse para ello, sino la misma voluntad (como facultad de desear, y por tanto, facultad de la naturaleza), en cuanto puede ser determinada, según aquellas reglas, por medio de motores naturales⁵⁴⁰.

⁵³⁹ Kant, 1996, p. 165 (A2 418)

⁵⁴⁰ Kant, 1995b, pp. 96 – 97 (B XIII, XIV | A XIII, XIV). Podemos ilustrar este pasaje con un ejemplo trivial, considerando el siguiente razonamiento:

- 1) Para freír un huevo se necesita poner aceite (esta sería la premisa mayor, que expresa una ley; su alcance es por tanto universal).
- 2) Quiero freír un huevo (premisa particular, un hecho)
- 3) Conclusión: entonces tengo que poner aceite. Este último “tengo que” —para el caso equivalente a un “debo”— se podría sustituir sin más por una predicción: “entonces pondré aceite”.

Si no se cumple la predicción, o bien el agente no tiene por cierta la primera premisa, o bien no es verdad que quiera freír un huevo. El “tener que” de la conclusión es como si dijéramos: “el calor dilata los cuerpos”, “aquí hay un cuerpo calentándose”, “entonces el cuerpo *deberá* calentarse”. La única diferencia que señala Kant es que la necesidad física que vincula causas y efectos se produce en la materia inerte mediante mecanismos, en los animales por instinto, y en los seres racionales por conceptos. Prescindiendo de su dimensión nouménica, “la voluntad, como facultad de desear, es una de las diversas causas naturales en el mundo”. *Cfr.* Kant, 1995b, p. 96 (B XIII, XIV | A XIII, XIV).

Aunque ajeno a la tradición utilitarista que en líneas generales hemos seguido en esta investigación, estas referencias provisionales a Kant son oportunas, y no sólo por tratarse del otro gran paradigma de la filosofía moral. Además, su concepción acerca del uso práctico de la razón pura nos ayuda a observar desde otra perspectiva los límites que impone a una teoría ética la distinción que venimos analizando entre juicios descriptivos y normativos. Pronto tendremos ocasión de ver cómo una perspectiva evolutiva puede prestar apoyo a la justificación última que Mill encuentra para el carácter *obligatorio* propio de las prescripciones morales. En el caso de Kant, este apoyo no se puede lograr tan fácilmente, o incluso se diría imposible, si partimos de que cualquier fundamento empírico nunca será el fundamento de la moralidad propiamente dicha. En cualquier caso, y sin pretender insertar la ética kantiana en un marco donde no puede encajar, sí valdrá la pena ver hasta qué punto guardan alguna conexión las leyes que *de hecho* se observan en la naturaleza —las generalidades que podemos rastrear en la evolución, o incluso en un modelo de ésta— con aquellas otras leyes de la naturaleza en las que debería poder convertirse una máxima moral, de acuerdo con la prescripción del imperativo categórico.

Volveremos sobre Kant más adelante. Retomando ahora la ley de Hume, el sentido en que *no* podemos pasar del “ser” al “deber ser” habrá de ser otro que no remita a esta mera vinculación entre medios y fines. Y la negación de que pueda haber tal alternativa es lo que Hume pretende poner de manifiesto.

Pese a todo, quisiera terminar este apartado refiriéndome a otra forma en la que cabría extraer conclusiones normativas a partir de premisas factuales. No será el sentido que estaríamos buscando en esta discusión (el sentido que nos permitiría extraer alguna normatividad genuinamente moral de la TJE) pero en cualquier caso vale la pena mencionarlo⁵⁴¹.

Siguiendo a MacIntyre, entenderemos por “concepto funcional” aquél que es definido en términos del propósito y función que característicamente se espera que cumpla el objeto cuyo concepto definimos. Un ejemplo habitual es el de “reloj”, artefacto que no puede definirse si no es por su función de dar la hora. Y así, “se sigue que el concepto de reloj no puede ser definido

⁵⁴¹ Es obligada al menos la referencia a las notables aportaciones a esta cuestión en la filosofía analítica contemporánea, entre las que caben destacar la de Searle, “How to derive ‘ought’ from ‘is’” (1964), o la de Putnam, *The Collapse of the Fact/Value Dicotomy and Other Essays* (2004). Los argumentos de estos autores serían ciertamente un apoyo en la búsqueda de una normatividad fundada en hechos, pero entiendo que en nuestra discusión nos movemos en un nivel más básico. Searle se vale en su análisis de la distinción entre reglas constitutivas y reglas regulativas. Entre las primeras incluye “instituciones” como el hacer promesas, y así, por ejemplo, el *hecho* de hacer una promesa implica el *deber* cumplirla. Aquí el deber se da por supuesto, aunque tan sólo sea como convención; pero lo que buscamos ahora es un tipo de derivación que no cuente ya con la validez de algún deber. El caso de Putnam es algo más complejo, con una crítica dirigida a lo que considera una concepción ingenua del empirismo, orientada a mostrar que la propia distinción entre hechos y valores no es tan tajante como la considerarían Hume y el neopositivismo. Una vez diluidas las fronteras entre ambos tipos de juicios, el paso de unos a otros no resulta ilícito. En esta discusión, sin embargo, nos quedaremos con la distinción clásica entre hechos y valores, por ser la que tienen en mente Moore y otros críticos del darwinismo social.

con independencia del concepto de un *buen reloj*⁵⁴². De este modo, partiendo de una premisa fáctica, lo que *es* un reloj, podemos deducir sin incurrir en falacias que tal o cual reloj es *bueno*, o si no lo es, cómo *debería ser* (un buen reloj no atrasa ni adelanta, es fácil de leer, no requiere ser puesto en marcha continuamente, etc.).

Pero como ya he adelantado, no puede ser éste el tipo de conclusiones que podemos esperar nos proporcione una teoría evolutiva. Y si hubo que esperar hasta Hume para percatarnos de lo inapropiado de estas inferencias aplicadas a cuestiones morales —por muy evidente que nos resulte esto ahora— la razón hay que buscarla en los 20 siglos durante los cuales dominó un modo diferente de entender la naturaleza y el hombre:

[...] las argumentaciones morales de la tradición aristotélica —en cualquiera de sus versiones griegas o medievales— comprenden como mínimo un concepto funcional central, el concepto de *hombre* entendido como poseedor de una naturaleza esencial y de un propósito o función esenciales [...] Es decir, “hombre” se mantiene con “buen hombre”, como “reloj” con “buen reloj”.⁵⁴³

Abandonada la tradición clásica, por un lado, y si buscamos una fundamentación última de la moralidad que vaya más allá de la razón instrumental individual, por otro, parece que cualquier teoría puramente descriptiva no tiene nada que decir en el terreno de la filosofía moral, sin violar la ley de Hume. La transgresión de esta ley no es otra cosa que la célebre “falacia naturalista”, de la cual nos ocuparemos a continuación, especialmente por lo que atañe al utilitarismo, que es la teoría moral más próxima a la perspectiva propia de la teoría de juegos.

5.2.2 Moore y dos sentidos de la falacia naturalista

El término “falacia naturalista” se ha convertido en la denominación estándar para el tipo de inferencia que analizábamos en el apartado anterior, esto es, la derivación de juicios normativos o valorativos a partir de juicios puramente descriptivos. Como es sabido, la expresión la acuñó George Moore en su *Principia Ethica*, aunque su campo de aplicación era originalmente un tipo más amplio de argumentaciones, de las cuales la falacia naturalista en su acepción actual sería sólo una clase de aquellos. Con el fin de aclarar el sentido original de este concepto y el modo en que lo utilizaré, expondré sinópticamente las tesis fundamentales de Moore sobre este punto, que él mismo resume al final del primer capítulo de *Principia Ethica*.

- El objeto de la Ética es determinar el significado de “bueno”. Para Moore, la cuestión acerca de la bondad de las acciones es por tanto *parte* de la Ética, pero no toda la Ética⁵⁴⁴.

⁵⁴² MacIntyre, 1987, p. 82

⁵⁴³ MacIntyre, 1987, p. 83

⁵⁴⁴ *Cfr.* Moore, 2002, pp. 24 – 25

- “Bueno”, al igual que “amarillo” es una cualidad simple, es decir, que *no se puede definir*. “Son nociones de tipo simple, que sirven para componer definiciones y a partir de las cuales cesa la capacidad de definición”⁵⁴⁵.
- Sin embargo, “*lo bueno*”, como aquellas cosas que son buenas, sí se puede definir. “Lo bueno será por tanto un sustantivo, al que se aplicará el epíteto ‘bueno’”⁵⁴⁶.
- Un poco más adelante escribe Moore: “Tal vez sea cierto que todas las cosas buenas son *también* algo más [...] No obstante, son muchos los filósofos que al nombrar esas propiedades han creído que, en realidad, lo que estaban definiendo era ‘bueno’; que estas propiedades, de hecho, no eran sencillamente ‘otras’, sino definitivamente y totalmente las mismas que para la bondad. Para denominar esta postura sugiero la expresión ‘falacia naturalista’”⁵⁴⁷.
- Más concretamente, Moore comienza a perfilar su crítica al utilitarismo al tomar como ejemplo —para ilustrar en qué consiste la falacia— la identificación de “bueno” con “placer”: “Cuando alguien confunde dos objetos naturales entre sí definiendo el uno por el otro (si en un suponer él, que es un objeto natural, se confundiera a sí mismo con ‘contento’ o con ‘placer’, que son otros) entonces no habría motivo para designar esta falacia como naturalista. Pero si confunde ‘bueno’, que no es un objeto natural en el mismo sentido, con cualquier otro objeto natural, entonces sí que habría que denominarlo falacia naturalista. [...] incluso si ‘bueno’ fuese un objeto natural, ello no alteraría la naturaleza de la falacia [...] lo que me preocupa no es el apelativo, sino la falacia”⁵⁴⁸.

Antes de proseguir, y aunque Moore lo considere de importancia secundaria, convendrá especificar que entiende por objeto o cualidad natural aquello que es objeto de la experiencia, que tiene un origen y un final en el tiempo.⁵⁴⁹

Y según Moore, el utilitarismo comete esta falacia porque: 1) identifica “bueno” con una cualidad natural, el placer, y 2) afirma que *sólo* el placer es bueno, definiendo así “bueno” como “placentero”. Discutir el primer punto, relativo a si bueno es o no una cualidad natural, nos llevaría demasiado lejos. Además, hemos visto que el propio Moore lo tiene por irrelevante, pues la falacia consiste en identificar “bueno” con un único tipo de cosas, de manera que nos centraremos en el segundo punto.

⁵⁴⁵ Moore, 2002, p. 30

⁵⁴⁶ Moore, 2002, p. 31

⁵⁴⁷ Moore, 2002, p. 33

⁵⁴⁸ Moore, 2002, p. 36

⁵⁴⁹ *Cfr.* Moore, 2002, pp. 64 – 65

En este sentido, atendiendo sólo a (2), podemos conceder a Moore que el utilitarismo comete la falacia en cuestión. Sin duda se puede discutir que lo que Moore considera una falacia realmente lo sea; quizá sí sea cierto que sólo el placer es bueno. Por otra parte, también sería cuestionable la interpretación según la cual, en efecto, el utilitarismo —al menos en la exposición de Mill— entiende que sólo el placer es bueno. En ciertos pasajes Mill parece decir que hay otras cosas que son buenas en sí mismas, aunque inmediatamente a continuación puntualiza que son buenas en sí mismas porque son parte de la felicidad —individual o colectiva—, o porque son placenteras. Considero que si en ocasiones Mill resulta un tanto oscuro a la hora de especificar qué es bueno en sí mismo, la confusión es sólo el resultado de las muchas matizaciones que Mill se ve obligado a introducir a fin de rebatir ciertas críticas, a menudo burdas e infundadas, que recibe la doctrina utilitarista. Podemos pese a todo aceptar la interpretación más tradicional, y considerar que para el utilitarismo lo único bueno en sí mismo es el placer, incluyendo por supuesto todas las precisiones de Mill acerca de las formas más elevadas y refinadas que un ser humano cultivado puede experimentar como placeres. Siendo esto el bien, la obligación moral ordena fomentarlo en su grado máximo, esto es, el principio de la felicidad general. Tal como lo presenta Mill, la felicidad sería la suma de diversos placeres, y la felicidad general, la suma de placeres de todos los seres implicados en el cálculo.

Esté o no Moore en lo cierto, el error que Mill estaría cometiendo sigue sin ser la falacia naturalista en el sentido que nos interesará aquí, como transgresión de la ley de Hume. Incluso de ser verdad que con “la falacia de los argumentos naturalistas [...] se ha tratado de *probar* que el placer es lo único bueno”⁵⁵⁰, aun así eso no afectaría a nuestra argumentación. Para simplificar, a esta primera acepción de la falacia naturalista consistente en identificar “bueno” con alguna propiedad natural, la denominaré FN1.

Ahora pasaremos al significado en que se ha hecho más conocida, como tránsito del “ser” al “deber ser”, y que podemos etiquetar como FN2. No es otra cosa lo que propiamente nos ocupa en la discusión de este capítulo, siendo todas las puntualizaciones hechas hasta aquí una suerte de prolegómenos necesarios para descartar cuidadosamente aquello de lo que *no* estaremos hablando.

Aunque FN1 no será la cuestión a discutir, era necesario mencionarla por representar el punto de contacto entre la falacia naturalista y el utilitarismo. Sobre el utilitarismo volverá después Moore, esta vez acusándolo de cometer FN2, pero habiendo pasado previamente por su crítica al darwinismo social de Spencer, donde sí queda patente la falacia naturalista como FN2.

El capítulo 2 de *Principia Ethica* lo dedica Moore al análisis de la Ética naturalista en general, y es allí donde aparece propiamente por primera vez FN2

⁵⁵⁰ Moore, 2002, p. 63

Una de las máximas éticas más famosas es la que recomienda una “vida conforme a la naturaleza”. Tal era el principio de la *Ética Estoica*, aunque no me ocuparé de ella en este momento [...]. La misma frase aparece en Rousseau y, no es raro, incluso hoy en día, que se mantenga que debemos vivir de forma natural. [...] Es obvio [...] que no podemos decir que todo lo natural es bueno.⁵⁵¹

Lo que Moore rechaza expresamente es, pues, “la creencia de que todo cuanto fije y decida la Naturaleza será bueno”⁵⁵². Y sin embargo, todavía no llama a esta creencia “falacia naturalista”. Sólo más adelante, al abordar la posible identificación de “natural” con “normal”, y de “normal” con “bueno”, señala que sostener esta segunda identidad “es sugerir la falacia naturalista”⁵⁵³. Vemos, pues que el sentido de FN2 es diferente de FN1, aunque aquél sugiera o implique éste. Pese a todo adoptaré este significado, FN2, que ya se ha hecho habitual, para seguir con el otro tipo de inferencias falaces, de las que sí se tiene que cuidar una ética naturalista. Una última cita de Moore nos servirá para presentar FN2 en toda su crudeza. Refiriéndose a teorías como la de Spencer, conocidas a grandes rasgos bajo el rótulo “darwinismo social”, escribe Moore:

[...] Según estas doctrinas, el curso de la “evolución”, al tiempo que nos muestra la dirección en que nos *estamos* desarrollando, nos muestra por esa misma razón la dirección en la que *debemos* desarrollarnos.

[...] Entre los hombres, de nuevo, se supuso que las razas superiores, como la nuestra, habían tendido a sobrevivir a las inferiores, como la de los indios norteamericanos. Podemos matarlos con más facilidad que ellos a nosotros.⁵⁵⁴

La cursiva del primer párrafo es de Moore, y revela claramente la estructura que discutíamos en relación con Hume, el paso del “ser” al “deber ser”. El segundo párrafo, pese a lo brutal del ejemplo escogido para ironizar, representa un tipo de pensamiento que no es extraño encontrar en diversos ámbitos (bien que sin llegar a esos extremos en cuanto al contenido).

⁵⁵¹ Moore, 2002, p. 66

⁵⁵² Moore, 2002, p. 66

⁵⁵³ Moore, 2002, p. 67

⁵⁵⁴ Moore, 2002, pp. 70 – 72

5.2.3 Una defensa de Mill

En vista de acusaciones como las de Moore, una defensa del utilitarismo será también un intento de derivar alguna conclusión normativa a partir de los hechos que nos muestra la teoría de juegos evolutiva, y ello, insisto, sin caer en FN2. Me centraré para ello en la exposición clásica de esta doctrina, llevada a cabo por J. S. Mill en *El Utilitarismo*, sin ocuparme de otras versiones más recientes y mucho más refinadas de la misma teoría. Esta restricción que me impongo no se debe, por supuesto, a que carezca de interés todo el desarrollo del utilitarismo durante el último siglo. El motivo es que, siendo todos estos desarrollos diversos intentos de superar las deficiencias que se atribuían al utilitarismo en su vertiente más clásica, será más oportuno retrotraernos a ésta, a fin de considerarlas en su propio origen, que es donde se ven con más facilidad. Sin ir más lejos, al forjar su concepto de “falacia naturalista” (FN2), uno de los blancos inmediatos de Moore es la versión del utilitarismo como la presenta el propio Mill (y Sidgwick).

Si conseguimos defender a Mill de las acusaciones de Moore, el paso siguiente será mostrar qué puede aportar la perspectiva de la TJE a una teoría ética. No se trata de sustentar todo el peso de la normatividad en la teoría de la evolución, sino de ver en qué medida los hechos sistematizados por esta teoría natural pueden *ayudar a entender* en qué consiste la obligatoriedad propia de los imperativos morales. Y no sólo en lo que al utilitarismo respecta, sino también a otras teorías, incluso de corte deontológico (Kant), tal como veremos al analizar los argumentos que propone Ruse.

Comenzando, pues, con la crítica de Moore a Mill, el texto donde Mill supuestamente ha cometido FN2 es ciertamente algo ambiguo, y es por ello mismo muy conocido:

Las cuestiones relativas a los fines son [...] cuestiones relativas a qué cosas son deseables. La doctrina utilitarista mantiene que la felicidad es deseable, y además la única cosa deseable, como fin, siendo todas las demás cosas sólo deseables en cuanto medios para tal fin. [...]

La única prueba que puede proporcionarse de que un objeto es visible es el hecho de que la gente realmente lo vea. La única prueba de que un sonido es audible es que la gente lo oiga. [...] De igual modo, entiendo que el único testimonio que es posible presentar de que algo es deseable es que la gente, en efecto, lo desee realmente. [...] No puede ofrecerse razón alguna de por qué la felicidad general es deseable excepto que cada persona [...] desea su propia felicidad. [...] que la felicidad de cada persona es un bien para esa persona, y la felicidad general, por consiguiente, un bien para el conjunto de todas las personas, de tal modo que la felicidad exhibe su título como *uno* de los fines de la conducta y, consecuentemente, como uno de los criterios de la moralidad.⁵⁵⁵

⁵⁵⁵ Mill, 1994, pp. 89 – 91

La acusación de Moore es que Mill emplea “deseable” como “*debe* ser deseado”, con lo cual se rompe la analogía con los ejemplos previos, pues “audible” o “visible” no significa “que *deba*” ser oído o visto, en el sentido de que sea *bueno* oír o ver determinado objeto. Sin embargo, pese a la oscuridad que puedan generar estos términos, se puede entender razonablemente que Mill no está cometiendo este error (FN2). Lo que Mill pretende constatar es simplemente un hecho: que la gente desea la felicidad. Como cuestión empírica, psicológica, esta aseveración puede ser discutida (aunque no sería arriesgado decir que es cierta). Pero Mill no afirma en ningún momento que *por eso*, la felicidad *deba* ser deseada. Podría dar esta impresión cuando al final de esta cita sostiene que la felicidad es uno de los criterios de la moralidad. La referencia a la moralidad induce de inmediato a pensar en conceptos como *obligación* o *deber*, y es aquí, pues, donde cabría identificar un tránsito ilegítimo del ser al deber ser. Sin embargo, que la felicidad sea o no un criterio de la moralidad es nuevamente sólo una cuestión de hecho⁵⁵⁶. Que sea un criterio simplemente indica que es una regla o principio que se propone para la moralidad. En cuanto tal, ciertamente adoptará la forma de un imperativo; en este caso, se trataría del principio de utilidad: “fomenta en la mayor medida posible la felicidad general”. El principio en cuestión podría ser también “obra de tal modo que la máxima de tu acción pueda convertirse en una ley universal”, o quizá “pinta todo lo que te rodea de color azul”. Aunque adopten formas imperativas, que el auténtico mandato de la moralidad sea uno u otro principio, sigue siendo una cuestión de hecho. Seguramente no se trata de un hecho natural (aunque el placer o el color azul sean cosas o cualidades naturales), pero sigue sin tratarse de una cuestión propiamente moral, por cuanto no tocan todavía la cuestión de *por qué deberíamos* obedecer un determinado principio. Si retrocedemos al inicio del capítulo 3, encontramos que Mill distingue con claridad estas dos cuestiones, de modo que no cabe atribuirle la comisión de FN2:

Se formula a menudo la cuestión, con toda propiedad, respecto a cualquier supuesto criterio moral: ¿Cuál es su sanción? ¿Cuáles son los motivos de obediencia? O, de modo más específico: ¿Cuál es la fuente de la que deriva su obligatoriedad? ¿De dónde procede su fuerza vinculante? Es una tarea necesaria de la filosofía moral la de proporcionar respuesta a esta cuestión que, aun cuando con frecuencia se presupone que es una objeción a la moral utilitarista [...] se origina, en realidad, con relación a todos los criterios.

[...] ¿por qué estoy obligado a promover la felicidad general? Si mi propia felicidad radica en algo distinto, ¿por qué no he de darle preferencia?⁵⁵⁷

⁵⁵⁶ Otra confusión que puede suscitar este pasaje es la de si la felicidad es o no lo único deseable, tal como afirma Mill en el primer párrafo, o si es sólo *uno* de los fines de la conducta. Pero para la cuestión que estamos examinando aquí podemos prescindir de este tema, que ya fue discutido en el epígrafe anterior.

⁵⁵⁷ Mill, 1994, pp. 76 – 77

Y la respuesta que da Mill a esta pregunta no es: estás obligado a promover la felicidad general *porque* cada persona busca su felicidad. La respuesta de Mill es:

En cuanto a la sanción interna del deber, cualquiera que sea nuestro criterio del deber, es siempre la misma: un sentimiento en nuestro propio espíritu, un dolor más o menos intenso que acompaña a la violación del deber, que en las naturalezas morales adecuadamente cultivadas lleva, en los casos más graves, a que sea imposible eludir el deber.⁵⁵⁸

La obligatoriedad que nos impone la moralidad es, pues, algo dado. Cuál sea el tipo de principio que nos hace sentir obligados, será también otro hecho (sobre el que disputarán las diversas teorías morales). La realidad de la moralidad se puede aceptar o negar, lo cual sería otro problema teórico, pero lo que parece carecer de sentido es desplazar la pregunta un paso más allá y preguntar por qué *deberíamos* sentirnos *obligados* a algo en absoluto. Mill sitúa el origen de este sentimiento de compulsión en el mundo de los sentidos, cosa que Kant negaría, colocándolo en ese reino nouménico donde no cabe sino postular la libertad. Y sin embargo, vale la pena notar el parecido en la argumentación de Kant, cuando expone cuál es la sanción última del *respeto* a la ley moral. Un hecho del cual ya no cabe preguntar teóricamente por su justificación:

Este sentimiento (bajo el nombre de sentimiento moral) es, pues, producido sólo por la razón. No sirve para juzgar las acciones ni para fundamentar la ley moral objetiva misma; sino sólo de motor para hacer de esta ley, en sí misma, la máxima.⁵⁵⁹

Cómo esa consciencia de las leyes morales o —lo que es lo mismo— de que la libertad sea posible, eso ya no se puede explicar [mediante la razón teórica].⁵⁶⁰

Nos vemos conducidos a que la moral no puede tener su justificación —si realmente ha de ser una justificación radical— en premisas morales, pues esto sería moverse en círculos o en series infinitas. Pero tampoco puede tener su justificación en premisas no morales, cosa que Kant entendía era como sacar agua de las piedras. Ni siquiera Mill, cuyo criterio de moralidad sí es empírico, recurre a *otro* hecho al margen de la propia moralidad que sirva de base a ésta. Sin embargo todavía quedaría un intento de fundamentar una disposición moral genuina —esto es, que no sea alguna variante del egoísmo camuflado de altruismo— partiendo de la sola razón instrumental. En esta dirección, la propuesta más reciente y original ha sido la de Gauthier. En una introducción al pensamiento de Gauthier, escribe Pedro Francés al respecto:

⁵⁵⁸ Mill, 1994, p. 78

⁵⁵⁹ Kant, 1995a, p. 100 (A 136)

⁵⁶⁰ Kant, 1995a, p. 67 (A 80)

Esto no es un asunto fácil. Si aceptamos que las reglas de la prudencia se derivan de la experiencia y que las reglas morales son normas necesarias y universales, el tránsito de una a otra sería, según Kant, “una contradicción manifiesta”, tan absurdo como pretender obtener agua de una piedra (*ex pumice aquam*). Sin embargo, ésta es la tarea en que consiste, según Gauthier, un argumento ético “para adultos”. Gauthier cree que, a pesar de las dificultades, es posible formular un argumento contractual que, partiendo de la simple (pero perfecta) prudencia de las partes y el exacto análisis de su situación y sus expectativas, demuestre que el comportamiento moral es racional. El argumento tiene [...] la forma de un contrato social, es decir, la forma de un contrato hipotético entre *todos* los miembros de una sociedad. Pero lo más interesante es que su éxito coimplica una nueva comprensión de la racionalidad, cuyo concepto simplemente instrumental se revela así como una simple premisa metodológica, muy lejos de describir la *verdadera* naturaleza de la racionalidad humana. Al decir “coimplica” queremos dar a entender, primero, que el éxito del argumento demostraría que es racional abandonar la simple prudencia para abrazar una actitud moral sincera; y segundo, que no por ello habría que entender el argumento en un sentido lineal, como si el paso de la prudencia a la moralidad pudiera acontecer en el tiempo.⁵⁶¹

Antes de proceder a un último análisis de Gauthier, convendrá recordar brevemente el sentido más radical en el que estaríamos considerando *ex pumice aquam*. Se trata de destacar que los dictados de la prudencia, aunque contienen locuciones imperativas, no son propiamente morales, en cuanto que para hacer efectiva la conclusión de dicha regla no se necesita nada más que la naturaleza y sus leyes bien definidas. Entenderemos esto, pues, en el sentido que da a entender Kant en el pasaje de la *Crítica del Juicio* anteriormente citado.

Al justificar la disposición que denomina “maximización restringida” Gauthier parte de premisas no morales, esto es, la demostración de que dadas ciertas condiciones (básicamente la transparencia y un mundo donde habitan tanto cooperadores como defectores), es *racional* ser un maximizador restringido. Hasta aquí no hay nada moral. La moralidad aparece después, cuando nos damos cuenta de que para ser un maximizador restringido hay que serlo *real, sinceramente*. Porque sólo siéndolo de verdad puede hacerse efectivo, en un contexto transparente o translúcido, que los demás maximizadores restringidos nos puedan *reconocer* como tales, con los consiguientes beneficios de la cooperación mutua. Un maximizador restringido que no fuese *auténtico* sufriría siempre la tentación de defraudar cuando tuviese la ocasión de explotar a otro (por ejemplo, a un cooperador incondicional). Si un agente, a) sufre dicha “tentación”, y b) es racional, entonces: c) defraudará. Pero si defrauda, entonces no es un MR, y *ex hypotesi*, los auténticos MR le detectarían (por qué medios es otra cuestión, empírica, que ya hemos analizado en las secciones 3.5 – 3.7). Un MR auténtico elimina (a), pero conserva (b). *Eliminar la posibilidad de ser tentado es una disposición genuinamente moral y racional,*

⁵⁶¹ Gauthier, 1998c, p. 19

aunque algunas de las *acciones* que se derivarían de ella (abstenerse de explotar) sean irracionales, no maximizadoras. Por eso, una interpretación común —y a mi juicio correcta— es que Gauthier desplaza el objeto de la elección racional de las acciones a las disposiciones. Si un agente todavía está meditando sobre si explotar o no llegada la ocasión, entonces no es un MR. Una disposición auténtica elimina esta deliberación racional en torno a acciones puntuales. Si no es excederme en la comparación, esto recuerda en cierto modo a la virtud aristotélica, entendida como *hábito*: el MR auténtico haría de su disposición condicional un *hábito*, y cuando la disposición ya ha sido interiorizada, ya no le supone un esfuerzo ser virtuoso. Simplemente se comporta así. Lo que en Aristóteles es hábito, en Gauthier sería el propio proceso de elección racional. Pero yendo más a la raíz, lo que habría aquí es una descripción de la propia naturaleza humana, racional —*instrumentalmente* racional—, y que sin embargo, por ser las disposiciones y no las acciones⁵⁶² el objeto de elección, contendría también una disposición genuinamente moral que se manifiesta, ahora sí, al pasar al nivel de las acciones, por cuanto una disposición de este tipo se abstiene sin más de *maximizar la utilidad*, incluso pudiendo hacerlo⁵⁶³.

Con este breve repaso a la aportación de Gauthier concluyo la exposición de lo que serían los límites dentro de los cuales debería mantenerse una ética naturalista. En nuestro caso, más concretamente, una ética que intente encontrar algún tipo de apoyo en el hecho de la evolución. El examen detallado de lo que se ha dado en llamar “falacia naturalista”, pese a la condición casi de tópico que ha alcanzado, era necesario al menos como aclaración del uso que haremos de ciertos términos. En un aspecto menos semántico lo cierto es que más de dos siglos después de Hume y pasados cien años desde que Moore bautizara la célebre falacia, ésta continúa amenazando cualquier enfoque naturalista de la ética. Consideremos por ejemplo las siguientes observaciones de Richard Joyce:

Because these theorists are focused on the wrong kind of normativity, it is no surprise that they are committed to odd views about how we might go about discovering moral truths. [...]

If moral judgments are to be epistemically justified with reference to facts about human evolution, then making new and unexpected discoveries about human evolution could, and sometimes should, change our minds about enormous tracts of our moral opinion. For example, suppose that, according to our best theorizing to date about the archaeological evidence, we decide that the social conditions through the relevant period of hominid development were thus-and-so, leading us to provisionally endorse theory X about human evolution. According to evolutionary moral naturalism, this should lead us to provisionally support certain particular or general moral claims, such as “Third-trimester abortions are sometimes permissible”, “Cancelling Third World debt is morally desirable but not

⁵⁶² O indirectamente los estados de cosas.

⁵⁶³ Esta idea tiene cierta analogía con la tesis de Sober y Wilson (que pronto retomaremos en detalle con Ruse): para que el “altruismo” sea biológicamente posible tiene que ser también posible el verdadero altruismo.

obligatory”, and “The Elgin Marbles ought to be returned to Greece”. But then imagine that further evidence from paleontology and from prehistoric campsites unexpectedly turns up at a later date, suggesting radically different conclusions concerning the social arrangements of our ancestors and thus leading to revise our views about the relevant aspects of human evolution and to adopt theory Y. This could, according to evolutionary moral naturalism, demand a revision of some or all of those contemporary moral views [...]. But it is surely an astonishingly implausible theory that allows that the complex moral disputes facing the modern world might, even in principle, be settled by digging in the African soil, or holds that my guilt about breaking a promise I made last week to my mother-in-law should suddenly evaporate because I read an article in *Nature* about the discovery of some new hominid fossil.⁵⁶⁴

El retrato que hace Joyce de lo que podría encajar bajo el rótulo de “ética evolutiva” puede resultar bastante grotesco. Sin embargo, si estima oportunas estas observaciones, ello seguramente se deba a que realmente existe, al menos potencialmente, cierta clase de pensamiento naturalista que deriva sus conclusiones de esta manera. Por tanto, no es en vano el repaso que hemos a la falacia naturalista; y de hecho, autores como Ruse o Singer no ahorran esfuerzos para defenderse —incluso por anticipado— de esta acusación⁵⁶⁵.

5.3 Qué puede aportar una teoría descriptiva a una justificación de la normatividad propia de la moralidad

Siguiendo en gran parte a Ruse, en este epígrafe intentaré mostrar qué puede aportar a la filosofía moral la teoría de la evolución. En particular, algunas de las conclusiones que proporciona esta teoría descriptiva las hemos constatado en modelos como lo son la teoría de juegos o las simulaciones con ordenador. Éstos son la parte más concreta del método que hemos empleado para abordar algunos hechos que el darwinismo, en su forma más general, consigue explicar. Así, aunque me referiré a la teoría de la evolución en su forma más amplia, se entenderá que tenemos presentes no sólo los hechos de la biología, sino también los modelos que acabo de mencionar.

Comenzaré por lo que la biología nos permite saber acerca de nuestras disposiciones morales, notando que no se trata de ninguna prescripción, sino de la pura observación de un hecho, que Ruse expresa del siguiente modo:

⁵⁶⁴ Joyce, 1996, pp. 176 – 177

⁵⁶⁵ Véase por ejemplo, Singer (2000, p. 24), Wilson (1988, pp. 198 – 199) o Ruse (1995, pp. 667 – 669).

Ahora sabemos que a pesar de un proceso evolutivo, centrado en la lucha por la vida, los organismos no están necesariamente en un conflicto perpetuo con armas de ataque y defensa. En particular, la cooperación puede ser una buena estrategia biológica. También sabemos que los humanos son los organismos que de manera preeminente han adoptado esta vía de la cooperación y colaboración. Asimismo, hay razones para pensar que una de las principales maneras de cooperación de los humanos es la posesión de un sentido ético. Las personas creen que deben colaborar, y —con las cualificaciones obvias— lo hacen.⁵⁶⁶

Constatada esta realidad, nos centraremos ahora en lo que sería una puesta en entredicho de la moralidad. Obviamente no será una duda acerca del hecho que acabamos de aceptar, sino de sus fundamentos, de su legitimidad normativa. Cualquier intento positivo de justificar la moralidad será una reacción o una respuesta a lo que es siempre un planteamiento negativo, a saber, el cuestionamiento de la supuesta racionalidad que sustenta esa fuerza motivacional de las obligaciones absolutas. Y tal vez la forma más frecuente de poner en entredicho la validez normativa de cierta moralidad sea indagar sus orígenes. Este modo de pensar es especialmente conocido desde que Nietzsche se decidiese a rastrear la genealogía de la moral, mostrando el origen “demasiado humano” de nuestros conceptos de bien y mal. Un origen no sólo humano, según Nietzsche, sino a menudo contrario a los valores que de él surgen: la verdad desde el ánimo de engañar, la santidad como resultado del resentimiento propio de una casta de sacerdotes, etc. La misma idea puede encontrarse ya en Trasímaco, cuando desafía a Sócrates a probar que la justicia —tal como estaba presente en la cultura de su tiempo— no era más que una creación de los débiles para defenderse de los fuertes. Pasando ahora al terreno donde nos hemos movido a lo largo de esta investigación, queda a la vista qué consecuencias tiene esta manera de pensar para la ética, desde la perspectiva naturalista que adoptamos aquí:

La posición que aquí se expresa es una forma de “escepticismo ético” [...]. Es importante subrayar que el escepticismo no se refiere a exigencias éticas sustantivas. Nadie, y menos el ético evolutivo, niega la existencia de éstas. El escepticismo es sobre los fundamentos que supuestamente subyacen a la ética sustantiva. Lo que quiero decir es que en ocasiones, una vez has ofrecido un análisis causal de por qué la gente cree determinadas cosas, ves que la llamada a una justificación razonada es ilícita. [...] El hecho es que si reconociésemos que la moralidad no es más que un epifenómeno de nuestra biología dejaríamos de creer en ella y de actuar de acuerdo con ella. Por ello, quebrarían de inmediato las muy poderosas fuerzas que nos convierten en cooperantes.⁵⁶⁷

⁵⁶⁶ Ruse, 1995, p. 670

⁵⁶⁷ Ruse, 1995, pp. 676 – 677

Pronto veremos que ésta no es la conclusión definitiva de Ruse, pero en estos párrafos presenta con especial claridad cuál es la dificultad a la que nos enfrentamos (una dificultad real, en modo alguno fruto de una disquisición caprichosa).

Antes de intentar una solución, conviene volver por un momento a Nietzsche y Trasímaco y matizar que, después de todo, no niegan de manera absoluta un mundo de valores y obligaciones, sino que el análisis de sus orígenes está encaminado a invertirlos, por decirlo del modo que el propio Nietzsche hiciera célebre⁵⁶⁸. Un modo semejante de pensar, con todo lo “subversivo” que pudiese parecer, no niega radicalmente la posibilidad de una fundamentación. De hecho, sugiere un tipo de fundamentación que sería una instancia más de FN2, la cual deriva ciertos valores a partir hechos como la fuerza, la vida, nuestra naturaleza más íntima, tal como *realmente* es antes de sufrir las distorsiones de los débiles y los resentidos. Sí hay algo más próximo a la amoralidad completa —y no la mera inversión de una cierta moral— es esa inocencia que Nietzsche destaca en la figura del niño. Pero ser inocente a voluntad es imposible (sería uno de esos estados que Elster denomina “subproductos”⁵⁶⁹), y como bien observa B. Williams, quien adopte este tipo de actitudes

tiene que resistir la tendencia más insidiosa de atribuirse a sí mismo una forma de ser realmente espléndida y en particular el considerarse notablemente valiente en comparación con la cobarde multitud. Pues acariciando tales pensamientos correrá un constante peligro de salirse fuera de su mundo de sus propios deseos y gustos, y de penetrar en una región en la que la posesión de ciertas disposiciones es considerada como una excelencia en los seres humanos [...]; y si bien es verdad que tales pensamientos no tienen por qué conducir directamente a consideraciones morales, sí que representan un acercamiento sustancial a ellas, pues inmediatamente llevan a preguntarse sobre qué es lo bueno en esas disposiciones.⁵⁷⁰

En verdad, una inversión de valores no tiene por qué ser un cuestionamiento de los fundamentos últimos de la moral, ni tampoco un caso de FN2, por cuanto suponen cierta idea de virtud, o de lo que es un buen hombre (un *superhombre*), que no hace ilícito el paso del ser al deber ser. Esta concepción era sin duda muy natural en el contexto griego, aunque obviamente Trasímaco toma como punto de referencia una serie de virtudes mucho más próximas al héroe homérico que a la *pólis* ilustrada de su tiempo.

⁵⁶⁸ Reitero que no aspiro a hacer una exégesis completa y minuciosa del pensamiento de Nietzsche; simplemente lo tomo como representante de un cierto modo de concebir las relaciones entre el hecho de la moralidad y sus fundamentos.

⁵⁶⁹ *Cfr.* Elster, 1988, cap. 2

⁵⁷⁰ Williams, 1987, pp. 20 – 21

Digamos, a modo de comentario, que en el caso de Nietzsche podemos exculparle de estar incurriendo en una inferencia falaz, si damos por buena la afirmación de MacIntyre, quien ve en él el pensamiento más próximo a la tradición clásica desde que la Ilustración la desplazase.

El mérito histórico de Nietzsche fue entender con más claridad que ningún otro filósofo [...] no sólo que lo que se creían apelaciones a la objetividad en realidad eran expresiones de la voluntad subjetiva, sino también la naturaleza de los problemas que ello planteaba a la filosofía moral. [...]

[...] Nietzsche enlaza su crítica a las morales de la Ilustración con una apreciación del fallo de éstas en instrumentarse adecuadamente, dejando de lado el responder a la pregunta: ¿qué clase de persona voy a ser? De alguna manera es una pregunta ineludible, a la que cada vida humana se da una respuesta *en la práctica*. Pero para las morales típicamente modernas es una pregunta que sólo admite una aproximación indirecta. La cuestión primordial desde su punto de vista concierne a las reglas: ¿qué reglas debemos seguir? y ¿por qué debemos obedecerlas? [...]

[...] Nietzsche se vio a sí mismo como el último heredero del mensaje de aquellos aristócratas homéricos cuyas hazañas y virtudes abastecieron a los poetas [...].⁵⁷¹

Este breve excursus sigue teniendo que ver con nuestro planteamiento, por cuanto una perspectiva evolutiva proporcionaría una respuesta al desafío que nos podría presentar Nietzsche. La moralidad, incluso con los rasgos más característicos de los “corderos”, no es un invento de sacerdotes resentidos, ni un afán de ocultar y engañar, ni una negación de la vida. Es por el contrario la misma naturaleza, y lo que en gran medida hace posible la vida entre individuos racionales, corrigiendo los excesos de la pura maximización. Si se trata de establecer *hechos* acerca de nuestra naturaleza y la genealogía de la moral, el origen ya no es demasiado humano, sino demasiado *genético* —si se me permite la expresión. Y ello, en el caso de nuestra especie, de un modo menos violento del que haría esperar una lógica superficial de la pura lucha por la subsistencia.

Sin embargo el marco en que nos movemos nos priva de cualquier fin natural que se le pueda atribuir al hombre, de forma que seguimos sin poder establecer ninguna justificación fáctica de la moralidad. Y lo que es peor, el origen evolutivo de la moralidad descarta también la adopción de unos valores alternativos. El hecho que la evolución nos permite verificar, y que hasta aquí había ofrecido como una justificación de la moral ante este tipo de cuestionamientos —digamos de índole “nietzscheana”— apunta a un fundamento más general, a la propia capacidad de percibir la realidad en términos valorativos. Ya no se trata de que el origen fuese “falso”, sino que dicho origen cae fuera de un marco en el que siquiera se pudiese hablar de falsedad:

⁵⁷¹ Cfr. MacIntyre, 1987, pp. 146 – 154. He intentado condensar en pocas frases un argumento que vale la pena seguir en sus detalles a lo largo de los capítulos 9 y 10, pero que nos desviaría demasiado de nuestra discusión.

¿No sucede en ocasiones que cuando uno ha ofrecido una explicación causal de ciertas creencias puede ver que éstas, en sí mismas, ni tienen fundamento ni podrían tenerlo? Por lo menos esto es lo que afirma el ético evolutivo actual. Tan pronto percibimos que nuestras creencias morales no son más que una adaptación establecida por selección natural, para fomentar nuestros fines reproductores, esto es el final de la moralidad. La moralidad no es más que una ilusión colectiva que nos han endosado nuestros genes para fines reproductores.⁵⁷²

Por su contenido, este nuevo párrafo de Ruse parece una repetición del que habíamos citado anteriormente. Sin embargo, vale la pena notar un contraste. El “escepticismo ético” no negaba la existencia de exigencias éticas sustantivas. Ahora, por el contrario, la moralidad queda descubierta en su condición de ilusión colectiva, y por tanto se desvanece.

Conviene reparar en el concepto de “ilusión”, yendo un poco más allá de la metáfora, que por lo demás está bien empleada. En primer lugar, cuando reconocemos algo como una ilusión o un engaño, éste no desaparece simplemente porque se lo haya identificado como tal. Lo que en verdad desaparece es la influencia que esa ilusión tiene sobre nuestra conducta. ¿Pero realmente desaparece esa fuerza vinculante de la moralidad cuando descubrimos su origen biológico? Como cuestión fáctica (una afirmación psicológica para la cual no puedo aquí dar mayor justificación) entiendo que no. La siguiente línea de ataque a la que habríamos de hacer frente es la que desplaza este “condicionamiento” de la biología a la cultura. Sin embargo, desentrañar el modo en que hemos sido educados conduce como mucho a una revisión o cambio en el criterio de la moralidad, pero no al abandono completo de todo patrón valorativo. Podríamos decir que cuando consideramos la posibilidad de escapar a estas ilusiones, el propio hecho de que nos planteemos la necesidad, conveniencia o corrección de cancelar la moralidad, eso mismo ya es un indicio de que es demasiado tarde para ser realmente capaces de hacerlo.

Si, como sucede, pienso que la moralidad es verdaderamente vinculante para mí —e incluso el hecho de que pueda reconocer su base no modifica los sentimientos psicológicos que yo tengo— entonces me siento impulsado a seguir comportándome moralmente. Obviamente, esto no quiere decir que siempre seamos morales. De lo que se trata es que tenemos la opción de ser o no ser morales. Donde no tenemos opción es en las creencias que tenemos. Yo puedo decidir robar o no robar. Lo que no puedo decidir es si robar es bueno o malo⁵⁷³.

Intentemos dar un paso más, afirmando que *sí* puedo decidir si robar es bueno o malo. Lo que no puedo hacer, incluso tras haber descubierto los orígenes espurios de mis sentimientos morales, es poner fuera de juego *toda valoración* sobre si robar es bueno o malo. Es cierto que existe una gran variedad de actos que consideramos simplemente neutros, pero si se trata de

⁵⁷² Ruse, 1995, p. 675

⁵⁷³ Ruse, 1995, p. 677

desligarnos de una ilusión, el cambio de bueno (o malo) a neutro sigue siendo en sí mismo un acto de valoración. Si el hecho de la evolución quita cualquier sentido a ese respeto que impone la moralidad, si ya no hay ninguna razón suficiente para acatarla, tampoco habría una razón para abandonarla. Se podría responder que sí hay una razón, a saber, desligarse de una restricción inútil a nuestra conducta maximizadora. No una restricción *ilegítima*, pues este concepto nos sigue atando al mundo ilusorio de las valoraciones, dejando abierta la posibilidad de que sí hubiese una restricción moral *legítima*. Y esta conclusión, una vez más, no puede plantearse como el resultado de un razonamiento que nos *autorizase* a dejar atrás ese espejismo que los genes han impuesto a nuestras ideas. Quien realmente dejase de sentir la fuerza de los imperativos al encontrar su origen evolutivo no podría comunicar su descubrimiento a nadie que no haya pasado por la misma experiencia que él. Sería tanto como intentar explicar en términos no valorativos algo que sólo se puede entender en un lenguaje axiológico.

El hombre amoral que intenta retratar Williams al principio de su *Introducción a la Ética* podría en alguna extraña circunstancia ser una realidad, y no sólo un ideal tipo. Pero una vez que somos capaces de pensar valorativa o normativamente, lo que parece imposible es que algún descubrimiento sobre los orígenes de la moralidad (biológicos, culturales, ideológicos) nos pueda llevar a una anulación completa de esta capacidad. Seguimos escuchando los dictados del deber, incluso sabiendo de dónde vienen.

Por ello es importante que la biología no instituya simplemente las creencias morales sino que instituya también una forma de cumplirlas. Tiene que hacernos creer en ellas. Esto significa que, aun cuando la moralidad pueda no ser objetiva en el sentido de referirse a algo “exterior”, es una parte tan importante de la experiencia de la moralidad como pensamos que es. Su fenomenología, si se prefiere, consiste en que creamos en que es objetiva.⁵⁷⁴

Esta afirmación, en la línea del escepticismo ético que mantiene Ruse, es perfectamente coherente. ¿Pero qué ocurre si alguien —el propio Ruse o cualquiera que medite estos pensamientos— se percata de esta modalidad en que la biología produce dicha fenomenología? ¿Se puede seguir manteniendo que la moralidad no es subjetiva y a la vez creer en su objetividad?

Creo que debería bastarnos con la objetividad que proporciona *el hecho* de que sea parte de nuestros genes. Había que preguntarse por el significado de que la moralidad sea algo “objetivo” o “exterior”. En un sentido cabría entender esa exterioridad, por ejemplo, como la existencia de una voluntad divina o las sanciones de la ley positiva; pero por muy reales que sean o fuesen, no serían ese fundamento objetivo que buscamos para la *moralidad*, por cuanto

⁵⁷⁴ Ruse, 1995, p. 677

formarían parte de un entramado de costes y beneficios, en éste o en otro mundo, que nos remitiría nuevamente a la pura razón instrumental. La objetividad que pueden acreditar los genes, por el contrario, no responde a las consecuencias que pueda tener para el individuo escuchar o no esos imperativos, sino al mero hecho de que seamos capaces de percibir sus exigencias.

5.4 Conclusión

¿Qué tipo de fundamento estaríamos buscando para justificar el carácter vinculante de la moralidad? Tenemos de hecho la experiencia de esa obligatoriedad, ¿pero por qué descubrir su origen biológico habría de apremiarnos a buscar para ella una fundamentación última? Quizá la empresa de justificar la normatividad de la moral sea demasiado ambiciosa. Lo que sí se puede defender más razonablemente es que un mejor conocimiento de sus orígenes y una explicación de su existencia al menos no implican su deslegitimación. La búsqueda de una justificación sigue siendo una tarea necesaria, propia de la filosofía moral y no de la biología, incluso si la tarea concluye en el resultado de que no es posible tal fundamentación. El punto al que hemos llegado queda bien resumido en el siguiente comentario de C. Korsgaard:

It is easy to confuse the criteria of explanatory and normative adequacy. Both, after all, concern questions about how people are motivated to do the right thing and why people care about moral issues so deeply. And certainly a theory of moral concepts which left the practical and psychological effects of moral ideas *inexplicable* could not even hope *to justify* those effects. Nevertheless the issue is not the same.⁵⁷⁵

La investigación que hemos emprendido cumpliría pues con el requisito necesario pero no suficiente de poder *explicar* los efectos de ciertos conceptos morales. A falta de poder justificarlos, una historia evolutiva de los mismos nos dejará en mejores condiciones de comprender por qué es necesaria tal justificación, qué tipo de pregunta es ésta y por tanto qué clase de respuestas se estaría buscando.

Entre las regularidades que podemos observar a nuestro alrededor no sólo es fácil sino incluso natural interpretar algunas de ellas como orientadas a un fin. Ya hemos tenido ocasión de analizar el origen evolutivo de esta tendencia a concebir la realidad teleológicamente⁵⁷⁶, aunque sea la misma lógica darwinista la que nos muestra que no hay tal finalidad. Pero cuidándonos de mantener estas expresiones como una metáfora sí cabe hablar de comportamientos regidos por “normas” en determinados animales sociales. Las regularidades observadas en organismos como las hormigas presentan, para lo que nos interesa, dos

⁵⁷⁵ Korsgaard, 1996, p. 18

⁵⁷⁶ *Cfr. supra* 2.1.6

peculiaridades. La primera es el problema que ya había llamado la atención de Darwin, relativo al “altruismo” de ciertos individuos que sacrifican su rendimiento adaptativo en favor de otros (recordemos que el rendimiento adaptativo es el equivalente biológico de la *utilidad*). En estos casos, pues, la selección no se produce al nivel del individuo, y habíamos visto la contienda entre las teorías que como respuesta proponen al grupo o al gen como unidad de selección. Las simulaciones informáticas de las que nos hemos valido en el capítulo anterior constituyen un modelo de estas teorías, y nos permiten *explicar* que ciertas estrategias altruistas o “morales” sean evolutivamente más estables que otras egoístas. Además, son un modelo especialmente apropiado por el carácter *determinista* de los agentes artificiales⁵⁷⁷, lo cual nos lleva al segundo rasgo distintivo de las “normas” que rigen aquellas conductas altruistas: los organismos nunca se desvían de ellas, a diferencia de lo que nos ocurre en relación con las auténticas *normas*, cuya obligatoriedad percibimos —y cuya justificación buscamos. Puestas las cosas así, resulta inevitable recoger la pregunta (y la respuesta) de Ruse:

If we humans are indeed part of the world’s causal network, then [...] why selection bothered with morality at all. Why were we not made as the insects, with rigidly programmed patterns? I would hazard the guess that the reason why we humans interact socially through morality, rather than according to fixed dictates which are genetically wired into our brains (as are the social actions of ants), is because this gives us more flexibility as circumstances change. If something untoward occurs, we can try to handle it, rather than being destined to do that which would normally be the optimal thing to do⁵⁷⁸.

Ahora bien, entiendo que la respuesta puede matizarse notando que esta flexibilidad no pertenece propiamente a la moralidad, sino que ésta es el contrapeso de lo que es la auténtica fuente de la plasticidad humana: la racionalidad maximizadora. La capacidad de representarse fines y evaluar diferentes medios para calcular el mejor resultado posible. Se trata una vez más de un producto de la evolución, que en lugar de construir siempre el mismo nido o cavar la misma cueva nos permite encontrar soluciones diferentes (casas, castillos o rascacielos) para situaciones diversas. En 2.2.1 habíamos seguido una analogía de Dawkins, que presentaba la imaginación como la capacidad de ciertos organismos para hacerse modelos y simulaciones de la realidad. Continuando así con esta plausible historia evolutiva, la reflexión sobre estos modelos “mentales”, el balance de ventajas e inconvenientes que precede a nuestras decisiones es lo que en algún momento de nuestro desarrollo —no sólo filogenéticamente sino también

⁵⁷⁷ Bien es cierto que en programas como *Bichos* algunos algoritmos presentan una complejidad que a veces hace difícil identificar cuál es la regularidad determinada por esas reglas, dando la impresión de que los agentes artificiales tienen cierto grado de “libertad”.

⁵⁷⁸ *Cfr.* Ruse, 1986, p. 260

ontogenéticamente— nos sitúa frente a la cuestión acerca de la legitimidad de la moralidad. Y por tratarse de decisiones individuales no nos basta con percibir las ventajas de la moralidad si *todos* siguen o siguiesen sus dictados. Si *a mí* me puede ir mucho mejor desobedeciendo, ¿por qué habría de acatar el mandato? Korsgaard sostiene que

normativity is a problem for human beings because of our reflective nature. Even if we are inclined to believe that an action is right and even if we are inclined to be motivated by that fact, it is always possible for us to call our beliefs and motives into question. This is why, after all, we seek a philosophical foundation for ethics in the first place: because we are afraid that the true explanation of why we have moral beliefs and motives might not be one that sustains them.⁵⁷⁹

Necesitamos una *fundamentación filosófica* porque la *explicación* (biológica) de por qué tenemos creencias, razones, motivos o sentimientos morales no es aquello que los sostiene. Y si el análisis de la falacia naturalista nos impedía apoyar la moralidad en hechos, por la misma razón ahora tampoco habría que temer que el conocimiento de esos hechos socave sus fundamentos. El sentido en que nuestra capacidad de reflexión pone en cuestión la autoridad de la moralidad es otro, y consiste en plantearle el tipo de preguntas propias de la racionalidad maximizadora. La moralidad no puede responder a estas exigencias, pero puede en cambio argüir que maximizar la utilidad individual no es la única función de la racionalidad, ni siquiera la más importante. *En principio* el problema es que si damos por bueno el esbozo evolutivo que aquí sugiero siguiendo a Ruse y Dawkins, entonces no parece haber rastro de otro tipo u otra función de la racionalidad. Si pese a estas reflexiones todavía nos reconocemos incondicionalmente obligados a ciertas acciones (derivadas a su vez de la aceptación incondicional de ciertos principios) podemos concluir que no se trata más que de residuos de nuestros antepasados, sin más función *individual* que la que puedan tener las muelas del juicio.

A este argumento se puede responder lo siguiente. Estábamos negando la normatividad de la moralidad porque: a) reconocemos un tipo de racionalidad que pone en cuestión sus mandatos, b) afirmamos que es el único tipo de racionalidad que realmente existe, y c) podemos dar cuenta de su existencia explicando su función adaptativa. Pero análogamente —sin justificar nada, moviéndonos solamente en el terreno de los hechos—, sí hay otro tipo de racionalidad (punto b) que presta su apoyo a la moralidad en lugar de negárselo (a). Y además, si le hacen falta credenciales evolutivas, podemos explicarla también por sus ventajas adaptativas (c). Hay ciertas respuestas que la moralidad sí proporciona: si todos lo hicieran tu acción sería imposible, o las consecuencias serían también malas para ti, o estarías haciendo daño a otro, o estarías degradando la esencia de lo que realmente eres, etc. Evidentemente se trata de razones que

⁵⁷⁹ Korsgaard, 1992, p. 49

quedan *ipso facto* desestimadas como tales por la racionalidad maximizadora *individual*. Pero incluso si tomamos a ésta como canon de racionalidad⁵⁸⁰ y etiquetamos aquellas otras respuestas como falaces, el caso es que son *argumentos*, y como tales tienen su asiento en la razón (y no, por ejemplo, en la creencia en un ser supremo o en sentimientos de simpatía) siendo su función adaptativa claramente identificable.

Que seamos capaces o no de sentirnos o *sabernos* obligados a algo puede aceptarse o no, pero no se le puede proporcionar una justificación ulterior desde el punto de vista de la racionalidad maximizadora individual (exceptuando tal vez la propuesta de Gauthier). Lo que sí se le puede dar es una explicación, en términos puramente descriptivos, que de cuenta de su *realidad* e incluso su necesidad. Y este hecho nos lo proporciona la lógica de la evolución. Veamos qué influencia puede tener el conocimiento de este hecho en un escéptico, que retrataremos según esta caracterización de Korsgaard:

The real threat of moral scepticism lies here. A moral sceptic is not someone who thinks that there are no such things as moral concepts, or that our use of moral concepts cannot be explained, or even that their practical and psychological effects cannot be explained. Of course these things can be explained somehow. Morality is a real force in human life, and everything real can be explained. *The moral sceptic is someone who thinks that the explanation of moral concepts will be one that does not support the claims that morality makes on us. He thinks that once we see what is really behind morality, we won't care about it any more*⁵⁸¹.

Partiendo de esta descripción, podemos distinguir tres tipos de escépticos. Por un lado tenemos al que describe Korsgaard (1). Si entiende que descubrir lo que hay detrás de la moralidad le mueve a abandonarla es porque: a) el descubrimiento apunta a un origen demasiado humano, o para nuestro caso, demasiado biológico, y b) depositaba su confianza en que la moralidad tuviese su fuente en alguna instancia teológica o metafísica. A éste se le puede responder que su inquietud está mal planteada: el problema, en general, es que una *explicación* de los orígenes de la moralidad nunca podrá ser aquello que *justifique* las exigencias de ésta.

⁵⁸⁰ Gauthier, por ejemplo, entiende que la maximización de la utilidad es racionalmente más fundamental que otro tipo de motivos porque “deliberative justification [racionalidad maximizadora] relates to our deep sense of self. What distinguishes human beings from other animals, and provides the basis for rationality, is the capacity for semantic representation. [...] Since in representing our preferences we become aware of conflict among them, the step from representation to choice becomes complicated. We must, somehow, bring our conflicting desires and preferences into some sort of coherence. And there is only one plausible candidate for a principle of coherence – a maximizing principle. We order our preferences, in relation to decision and action, so that we may choose in a way that maximizes our expectation of preference fulfillment. And in doing so, we show ourselves to be rational agents, engaged in deliberation and deliberative justification. There is simply nothing else for practical rationality to be. (Gauthier, 1991, pp. 19 – 20).

⁵⁸¹ Korsgaard, 1996, p. 17 (la cursiva es mía).

El caso más difícil lo tenemos en un segundo tipo escéptico (2), precisamente porque éste es completamente indiferente a cualquier explicación o identificación de un origen. Al igual que el tipo 1, admite la realidad de los conceptos morales igual que reconoce el hecho de la bipedestación, pero encontrando irrelevante que sea el resultado de la evolución o que Dios nos haya creado así, se pregunta —continuando la analogía— por qué *debería* caminar o correr con ellas en lugar de arrastrarse a gatas. Al escéptico 2 sólo se le puede proporcionar una respuesta válida desde una perspectiva como la de Gauthier, apelando en último término a su propio interés.

Pero hay un tercer tipo de escéptico (3) que sí podría encontrar una *buena razón práctica* en una explicación evolutiva. El escéptico 3 es el que duda de la propia “realidad” de los conceptos morales. A la inversa que 1 y 2 en principio puede incluso —al menos como hecho subjetivo— reconocer su carácter vinculante, pero sospecha que aquello que percibe como autoridad moral es una ilusión cultural, una influencia ideológica, y que por tanto ya no tiene motivos para seguir aceptando los dictados de un fantasma. A este escéptico sí se le puede mostrar que la normatividad en cuestión es algo presente en nosotros de una manera más profunda, y que si podemos ser presa de una falsa consciencia es porque previa, naturalmente, contamos con ciertas disposiciones que bien pueden adoptar la forma de una moralidad alienada —aquella de la que este escéptico 3 se quiere liberar— o igualmente puede llegar a ser una moralidad reflexiva y crítica.

Seguramente no es mucho, si contamos con que el escéptico 3 podría quedar satisfecho con esta respuesta y pasar de todos modos a plantearse las preguntas del escéptico 2. Pero tras la “muerte de Dios” y el fin de la metafísica esto sería lo más próximo a proporcionar a la moralidad un fundamento objetivo. Objetividad en el sentido mínimo de que remite a una naturaleza sobre la cual pueden conocerse ciertos hechos, aunque siga sin ser una justificación de sus exigencias normativas.

Sin pretender en modo alguno un intento de encajar el concepto kantiano de razón pura práctica en un marco naturalista que la desvirtuaría completamente, sí quisiera llamar la atención sobre una peculiaridad que nos muestra la evolución, y es que el tipo de disposiciones morales comunes que portamos en nuestros genes o que somos capaces de aprender, *no podrían haber sido muy diferentes*. La contingencia es en este sentido limitada, y de hecho la hipótesis de disposiciones morales radicalmente diferentes sería algo así como esas leyes de la naturaleza que se anularían a sí mismas, y que por tanto no superarían el test del imperativo categórico. Por ejemplo, esto se ve de manera especialmente notable en el modelo que la teoría de juegos evolutiva presenta en el juego de partir la tarta. La dinámica darwinista hace imposible que evolucionen formas de conducta que no sean equitativas. Yo pido más de la mitad de la tarta,

pero dada la naturaleza del juego, ¿puedo querer que todos demanden también más de la mitad? Si esa fuese la ley, mi propósito maximizador se vería anulado en sí mismo. Y otro tanto puede decirse del dilema del prisionero, cuando lo ponemos en el contexto dinámico que la teoría de juegos convencional no posee. En este marco —ciertamente muy idealizado por la cantidad de elementos de los que debe hacer abstracción el modelo—, lo cierto es que las disposiciones evolutivamente estables *no podrían haber sido de otro modo*.

Tenemos, pues, una disposición innata a reconocer ciertas cosas como *obligatorias* y otras como *indebidas* (o por lo menos disponemos de la capacidad innata para adquirir dichas disposiciones, enfoque para lo cual sólo necesitaríamos incorporar la evolución cultural, además de la puramente biológica).

Es importante señalar que afirmando nuestra naturaleza moral —incluso la necesidad de este carácter moral— no damos a entender ninguna concepción ingenua ni optimista acerca de nuestra *bondad natural*. Que reconozcamos ciertas acciones como obligatorias o prohibidas, no significa que por ello vayamos siempre, ni la mayoría de las veces, a respetar ese llamado al deber que nos hacen nuestros genes. Parafraseando a Ruse, no puedo elegir que el asesinato me resulte reprobable, y sin embargo sí puedo elegir cometer un asesinato. O por tomar prestada una vez más la terminología kantiana, si percibimos la moralidad como una *restricción* de la maximización, es precisamente porque nuestra voluntad no es santa.

Esto nos proporcionaría una respuesta a la pregunta con la que iniciaba este epígrafe. Si descubrir la fuente biológica de la moralidad nos lleva a anular la autoridad de ésta, es porque el determinismo rígido que suponen las leyes naturales contradice la idea de libertad, la cual es a su vez condición de posibilidad de que se nos pueda imputar algo como agentes *morales*. Sin embargo, Ruse nos hace notar que la propia consciencia que tenemos de este supuesto determinismo ya nos libra de él⁵⁸². Ahora bien, si la moralidad es un “órgano” que ha evolucionado gracias a las ventajas adaptativas que proporciona a quienes lo poseen, ¿cómo es que los comportamientos que calificaríamos de morales tienen que vencer tanta resistencia cuando consiguen realizarse? Esta pregunta acerca de por qué no somos “santos” tenía su respuesta en el argumento de Ruse acerca de las ventajas adaptativas que nos proporciona una conducta flexible.

Habría por tanto un precario equilibrio en el que la evolución ha seleccionado la capacidad de desviarnos de los patrones rígidos que nos impondrían las normas morales de las abejas. Y a la inversa, tal como la teoría de juegos permite ver con especial claridad⁵⁸³, puede verse en los mandatos de la moralidad la única solución a situaciones donde la racionalidad maximizadora

⁵⁸² Cfr. Ruse, 1986, pp. 258 – 261. Entre otras cosas, señala que “as [...] Spinoza argued, knowledge of causes leads to the increased possibility of self-control” (p. 260).

⁵⁸³ Por ejemplo, en juegos como el DP o el Gallina.

colapsa. Se trata de dos tipos de normatividad, el de la decisión racional y el de la moralidad. Aunque por algún motivo la segunda se ve como una restricción de la primera, y no a la inversa. Aquella está orientada a la maximización de las preferencias o la utilidad *propia*; ésta se refiere en cambio a los intereses de los demás, o bien, en un marco puramente deontológico, a preceptos que no responden al interés concreto de nadie (desde la perspectiva del agente). A la luz de un enfoque evolutivo, en principio parece que la racionalidad maximizadora tiene prioridad explicativa, pues es la que da cuenta de manera más directa, mediante el concepto de “rendimiento adaptativo”, de la selección de individuos. Sin embargo, tal como lo plantea Ruse, podría verse exactamente al revés: en organismos sociales como las hormigas, su supervivencia viene garantizada porque nadie se desvía de ciertos patrones de conducta que muchas veces redundan en perjuicio del individuo. En nuestra especie, sin embargo, este “altruismo” es incompatible con la capacidad individual de deliberar según las circunstancias, y esta capacidad, tal como propone Ruse, es la respuesta a la ineficiencia que tendría una voluntad santa.

Ambos tipos de normatividad pueden verse como un éxito de la evolución, pues la racionalidad maximizadora nos permite adaptarnos a entornos muy variables, pero, por otra parte, la moralidad no sólo pone término a las paradojas de aquella (DP) sino que también — cuando no hay tal contradicción— recorta el coste enorme que supondría estar siempre deliberando acerca de la acción óptima a escoger⁵⁸⁴.

Ciertamente es un despropósito justificar o cuestionar a Kant desde la biología, y como ya he señalado, no es esta mi intención. En cualquier caso, el punto de vista que defiendo aquí se deja vincular mucho más fácilmente a una ética utilitarista. Y no sólo por estar ésta más próxima al mundo puramente empírico, sino por cuanto que al tomar un criterio de moralidad que responde a un imperativo maximizador (del colectivo, no del individuo) su relación con la perspectiva de la teoría de juegos resulta casi inmediata. Aun así, y al margen del grado de éxito que pueda tener la propuesta de Gauthier, el utilitarismo puede contentarse con la idea de que la sanción última de la moralidad es algo simplemente dado, según veíamos con Mill. De esta forma, sin cometer ningún tránsito ilegítimo de los hechos a los valores, una perspectiva desde la teoría de juegos evolutiva aportaría la constatación de que, en efecto, el reconocimiento vinculante que concedemos a la moralidad es una realidad, siquiera en el sentido mínimo de que es previo a cualquier engañosa creación humana. Más allá de estas explicaciones, en cuanto a los esfuerzos filosóficos por *justificar* la validez normativa de ese hecho (o la prioridad racional de la cooperación sobre la maximización directa en una serie de casos bien especificados, incluso si

⁵⁸⁴ Evidentemente esto recuerda, por un lado, al utilitarismo de la regla, y por otro, al concepto de racionalidad limitada propuesto por Simon (*cf.* *supra* 2.2.2). La moralidad sería una manifestación de la racionalidad limitada.

no fuese posible encontrar tal justificación), su búsqueda no es el intento atávico de mantener una moral teológica, ni vanos ejercicios dialécticos, sino la consecuencia *práctica* —en el sentido de necesitar razones para actuar— de que seamos una especie que debe su gran éxito adaptativo a la combinación de dos capacidades, la racionalidad maximizadora y la disposición a restringirla, que ocasionalmente entran en conflicto. Moviéndose entre ellas se encuentran la libertad y su correlato, la norma moral.

6. Consideraciones finales: sentido de la investigación y perspectivas de las simulaciones como método a desarrollar en filosofía moral

Quisiera concluir esta investigación recomponiendo el recorrido que nos condujo desde los fundamentos de la teoría de juegos, a través de una perspectiva evolutiva de la ética, hasta una reflexión acerca de en qué medida este enfoque naturalista afecta a la normatividad propia de la moral. Aunque la respuesta a esta última cuestión ha quedado en una tentativa, ha servido para poner de manifiesto la estructura del problema.

En primer lugar, siguiendo a Korsgaard, podemos afirmar que la normatividad se convierte para nosotros en un problema porque somos seres reflexivos. En segundo lugar, dicha reflexión interroga sobre la razones que puede haber para acatar los mandatos morales, entendidos éstos, a su vez, por su relación restrictiva con un tercer elemento, la racionalidad instrumental —la racionalidad práctica “canónica” que hemos considerado en este trabajo⁵⁸⁵. Tanto la racionalidad caracterizada como maximización de la utilidad individual, como la disposición a restringir imparcialmente dicha maximización (concepto de moralidad derivado del enfoque de Gauthier), así como, por último, la autoreflexión que es esencial a nuestra especie, son tres resultados diferentes de un mismo proceso evolutivo. Por sí mismas, las relaciones entre estos tres aspectos dan lugar a un conflicto, pero éste resulta aun más patente precisamente cuando nos situamos en una perspectiva evolutiva. En efecto, aquellas disposiciones morales —experimentadas en su forma más general como la necesidad incondicional de observar ciertos principios o clases de acciones— muestran su eficiencia adaptativa precisamente cuando no se las pone en duda, cuando no se reflexiona sobre ellas⁵⁸⁶. Pero la facultad autoreflexiva que las cuestiona es otro resultado evolutivo. Y lo que completa la tensión es que el patrón o medida desde el cual la reflexión interroga a la moralidad es también una adaptación: la razón maximizadora.

⁵⁸⁵ Según veremos a continuación, se trata de la racionalidad “canónica” que habitualmente se supone representa el nivel mínimo de normatividad reflexiva y que, sin embargo, puede explicarse *también* como producto de la interacción en general y la selección natural, según habíamos mostrado valiéndonos de modelos dinámicos.

⁵⁸⁶ Acabo de mencionar la definición de moralidad que propone Gauthier, y ahora introduzco esta otra, referida a su fuerza motivacional. Entiendo que no hay ninguna incoherencia si especifico que en este segundo caso simplemente me refiero al modo en que la moralidad de hecho *se nos presenta*. Que la moralidad adopte esta “fenomenología” —según lo expresaba Ruse— es un *hecho* al margen de la caracterización técnica, por referencia a la racionalidad maximizadora, que siguiendo a Gauthier hemos manejado a lo largo de esta investigación.

Si alguno de esos tres elementos (1. autoreflexión, 2. racionalidad maximizadora, 3. moralidad como restricción de 2) pudiese situarse en un plano diferente de los otros dos, cabría asignar cierta prioridad explicativa a alguno⁵⁸⁷ (o incluso una prioridad normativa). O tal vez simplemente permitiría rechazar el cuestionamiento de la moralidad por ser (el cuestionamiento) resultado de superponer realidades heterogéneas. El problema que presenta el enfoque evolutivo es que los tres elementos se pueden situar y explicar en un mismo ámbito, el de la *naturaleza*.

Respecto de las simulaciones, en ellas se puede dar cuenta de 2 (racionalidad maximizadora) y de 3 (su restricción). Y en este sentido, los modelos vienen a confirmar las hipótesis de la biología evolutiva, mostrando las circunstancias en las que racionalidad y moralidad prueban su valor adaptativo. La capacidad de autoreflexión (1) también tendría su explicación evolutiva, pero cae fuera de las simulaciones, pues para explicar las conductas de los agentes artificiales no necesitamos postular ningún tipo de consciencia de sí. En cualquier caso, a efectos de la tarea que importa a la filosofía moral —encontrar qué buenas razones puede aportar la moralidad para justificar su fuerza motivacional— se puede aceptar la realidad de esa autoreflexión sin recurrir a ningún modelo informático ni explicación evolutiva. La perspectiva naturalista nos muestra el origen de la dificultad, *por qué* es tal, pero más allá de esta explicación, difícilmente puede aportar una solución.

Esta relación entre tres aspectos que colisionan en un terreno natural común es el punto al que llegamos. Y poder contar con este ámbito común nos permite prescindir de entrar en consideraciones metafísicas para el tratamiento de la cuestión. El enfoque propuesto por esta investigación tiene al menos la función propedéutica de orientar la discusión en una dirección que puede ser aceptada por un número más amplio de interlocutores. Para quien rechace una aproximación metafísica a la ética, será el planteamiento idóneo; para quien considere insuficiente el naturalismo, será el punto de partida apropiado para mostrar sus limitaciones y la necesidad de ir más allá del “mundo fenoménico”. Mantener las fuentes de la racionalidad, la moralidad y la autoreflexión acotadas por la biología evolutiva no tiene por qué significar un reduccionismo si se lo entiende sólo como una propuesta para manejar los tres componentes del problema en un mismo ámbito, sin tener que trazar una separación entre un mundo fenoménico y otro nouménico.

Por otra parte, el aspecto más destacable de este trabajo es su aportación a una filosofía moral ampliada, que incluye un nuevo objeto de estudio informalmente bautizado como “moralidad artificial”. Más que un objeto de estudio, se trata de una herramienta o método para la reflexión ética (aunque ciertamente resulte extraño decir que la moralidad sea una herramienta o un método, esto no es más que una cuestión terminológica). Es un concepto muy reciente, que

⁵⁸⁷ Por ejemplo, que la moralidad se *deriva* de la reflexividad, o que la moralidad se deriva de la maximización, etc.

Danielson define como “un nuevo método [...] que combina teoría de juegos e inteligencia artificial para desarrollar un contractualismo instrumental”⁵⁸⁸ y cuyo empleo podemos justificar atendiendo a la distinción tradicional entre filosofía teórica y práctica. Así, si la inteligencia artificial es un campo de investigación ya ampliamente reconocido, que tendría su referente filosófico en la epistemología o en la psicología, del mismo modo la moralidad artificial sería el complemento análogo de la reflexión ética, proporcionado por la cibernética⁵⁸⁹. Evidentemente, por su corta historia se trata de un área de investigación donde aún queda mucho por experimentar y descubrir. Así, las simulaciones desarrolladas específicamente para esta investigación no pretenden limitarse al desarrollo de una teoría contractualista⁵⁹⁰, sino que recogiendo los logros de autores como Axelrod, Danielson o Skyrms, añaden lo que modestamente considero son avances importantes en relación con éstos, sobre todo en cuanto a la diversidad de entornos (circunstancias) que puede representar el modelo, a la mayor versatilidad en las posibilidades de los “razonamientos prácticos” de los agentes artificiales, y a la variedad de respuestas que pueden proporcionar. En este sentido, el modelo propuesto en el programa *Bichos* se acerca un poco más a las complejidades de la conducta humana, pero manteniendo el grado de abstracción y simplicidad necesarios para ser parte de una teoría capaz de describir, explicar o aun predecir ciertos fenómenos sin incurrir en “despilfarros conceptuales”, es decir, sin abandonar el ideal científico de lo que se ha dado en llamar “principio de parsimonia”.

Pero hay un aspecto adicional por el cual *Bichos* representa un avance. La relevancia de este tipo de experimentos virtuales, cuyo empleo ya no es infrecuente en economía, biología y psicología, se puede apreciar mejor si reparamos en una de las técnicas más habituales y características de la filosofía, los llamados *experimentos mentales*. A este respecto podemos recordar la observación de Dennett, según la cual los experimentos con modelos informáticos sirven para disciplinar la imaginación⁵⁹¹. Los experimentos mentales son especialmente socorridos en la filosofía moral, donde se presentan a menudo en preguntas como “¿qué pasaría si todos (o alguien, o algunos) *hiciesen...*?” A este clásico tipo de preguntas contrafácticas las simulaciones le proporcionan una respuesta muy precisa, pues valiéndose de la teoría de juegos permite expresar dicha respuesta en términos cuantitativos que dejan muy poco lugar a

⁵⁸⁸ Danielson, 1992, p. 17. Al hablar de “contractualismo instrumental” (*instrumental contractarianism*) Danielson se refiere al contractualismo que puede justificarse mediante la racionalidad instrumental, en la línea de Hobbes y Gauthier.

⁵⁸⁹ Entendida esta ciencia, según una definición de la RAE, como el estudio de las analogías entre los sistemas de control y comunicación de los seres vivos y los de las máquinas; y en particular, el de las aplicaciones de los mecanismos de regulación biológica a la tecnología.

⁵⁹⁰ Sólo algunas de las simulaciones, como por ejemplo la del juego de la Caza del venado, pueden tener su principal interés en relación con teorías del contrato social.

⁵⁹¹ *Cfr. supra* 2.2.1

ambigüedades, corrigiendo así uno de los defectos que se suele achacar a los experimentos mentales. Además —y ésta es la aportación adicional apuntada al inicio de este párrafo— como he señalado repetidamente a lo largo de esta tesis, *Bichos* minimiza también una debilidad que afecta a cualquier tipo de experimento, ya sea real, virtual o mental: la tendencia del investigador a diseñar el experimento de manera que éste arroje ciertos resultados *esperados* o incluso deseados. En relación con este punto hemos visto que *Bichos* genera aleatoriamente una enorme variedad de estrategias, que por su número y complejidad escapan a lo que el experimentador podría manejar analíticamente. Más en concreto, así se da cabida desde el principio a una multitud de algoritmos que no responden a ningún principio reconocible ni de racionalidad ni de moralidad. Ambos fenómenos son siempre el punto de llegada evolutivo, sin estar presupuestos en el desarrollo de ninguna simulación, lo cual proporciona mayor solidez a un argumento que pretenda probar la estabilidad evolutiva tanto de la racionalidad como de la moralidad.

La historia de la filosofía y de la ciencia nos muestra que a menudo el método es más importante o más fecundo que los resultados obtenidos en sus primeras aplicaciones. Esta investigación es ante todo la exposición de un método y ciertas técnicas, presentados en su aplicación a un objeto de estudio que en principio les es ajeno. Esta distancia se debe ante todo a la diferencia que hay entre la agencia humana, consciente, intencional y libre⁵⁹², por un lado, y un mundo completamente determinista y mecánico, que ni siquiera es la naturaleza —ya de por sí indiferente a cualquier sentido o propósito— sino un modelo de ella, una construcción artificial. Pero no se trata de proyectar la complejidad de la agencia humana en entidades que no pueden darles cabida, sino atender a sus semejanzas, que se encuentran claramente en los resultados, bien sean de una elección consciente y racional, bien sean cierta salida de datos procesados por un algoritmo. Es atendiendo a estas acciones *manifestadas* donde la analogía entre este modelo y la realidad cobra su validez, como ya indicábamos al hablar de la heurística de la personificación⁵⁹³.

De esta forma he mostrado que el método al que contribuye este trabajo es un desarrollo necesario para aclarar ciertos puntos de interés suscitados por la teoría de juegos en contextos dinámicos. En este sentido, la teoría de juegos evolutiva supone “bajar a la tierra” los logros teóricos de la teoría de juegos convencional, sin perder por ello el carácter formal de ésta. Así, entre aquellas cuestiones cabe señalar, por ejemplo, el problema de la selección de equilibrios, al

⁵⁹² Al menos la ineludible *experiencia* de ser libre: “El agente, como tal, no puede pensarse como sujeto pasivo de determinaciones externas. Lo que llama ‘yo’ aparece siempre un paso más allá de la consciencia de sus determinaciones, pues lo que está ineludiblemente asociado a actuar no es tanto *ser* libre como la *consciencia* de serlo” (G. Gutiérrez, 2000, p. 38)

⁵⁹³ Cfr. *supra* 2.2.2. La analogía, la búsqueda de isomorfismos, al contrario de lo que cabría pensar, no es un procedimiento heurístico que murió con la ciencia antigua (idea especialmente divulgada por Foucault en *Las palabras y las cosas*) sino que aparece una y otra vez en la ciencia moderna, con resultados muy notables. Al respecto véase por ejemplo Rossi (1990, cap. 4) y Lorenz (1974).

cual la teoría de juegos evolutiva —a través de las simulaciones— proporciona una respuesta experimental donde la teoría de juegos convencional se quedaba en la indeterminación de varios equilibrios igualmente posibles⁵⁹⁴. Por otra parte, la herramienta *Bichos* representa un modelo empíricamente plausible de los mecanismos y características reales que tendrían los agentes translúcidos que Gauthier propone en su aproximación a la ética desde la teoría de juegos, a diferencia de la simulación altamente idealizada de Danielson, con sus agentes totalmente transparentes⁵⁹⁵. En el marco teórico de la moralidad artificial, el desarrollo del programa *Bichos*⁵⁹⁶ ha servido para responder a cuestiones como la estabilidad de las disposiciones a lo largo del tiempo (concepto de *estrategia evolutivamente estable*), la posibilidad de justificar estrategias no directamente maximizadoras, o subrayar la influencia —ya conocida pero ampliada aquí en varios detalles— de la situación espacial en el surgimiento de disposiciones cooperativas o equitativas. Además, y concretando estos resultados, los experimentos realizados con *Bichos*, recogidos en el capítulo 4, permiten probar las siguientes conclusiones.

1. La consistencia del modelo *Bichos* con los conceptos clave de la teoría de juegos evolutiva: estrategia evolutivamente estable (equivalente dinámico del equilibrio de Nash en la teoría de juegos convencional) y la ecuación Replicator dynamics, desarrollada por Maynard Smith para calcular los cursos evolutivos de diferentes estrategias en un marco darwinista. En particular, respecto de los experimentos con el juego del Gallina (4.2) conviene señalar la completa coincidencia entre las proporciones en que se distribuyen dos estrategias (cooperar y defraudar) en una población y la frecuencia con la que agentes perfectamente racionales deberían aplicar una u otra estrategia (estrategia mixta) en dicho juego; esto sería un caso paradigmático que justifica la validez de la heurística de la personificación.
2. En la simulación del DP (sección 4.3) los resultados se corresponden plenamente con los aportados por las simulaciones de Axelrod. Al tratarse de la situación más estudiada por la teoría de juegos, más que buscar novedades el objetivo era emplear este juego como *test* o punto de referencia para validar la precisión de mi modelo, también por referencia a la propuesta de Danielson, mostrando que la repetición de jugadas no tiene por qué restar significación moral a las interacciones de este juego, sino que son simplemente una condición necesaria para dar un contenido empírico a las nociones de *disposición* y

⁵⁹⁴ Recordemos el comentario de Binmore que citábamos al concluir el epígrafe 1.3.1, donde este autor veía el mayor logro de Axelrod en haber destacado la importancia de la evolución para seleccionar *un* equilibrio entre la infinidad de posibilidades cuya existencia ya estaba probada por el *folk theorem*.

⁵⁹⁵ Cfr. *supra* 3.5

⁵⁹⁶ Los fundamentos de *Bichos* y las características que incorpora de simulaciones anteriores se encuentran expuestos en los epígrafes 3.1 – 3.2 y 3.3.1 – 3.3.3. El Apéndice A ofrece además una explicación pormenorizada del programa, que sirve tanto para comprender los detalles de su funcionamiento como los aspectos en que se diferencia de otros modelos de este tipo.

transparencia. En cualquier caso, he aprovechado la amplia difusión del DP para contrastar otro rasgo característico de *Bichos*, la posibilidad de considerar juegos *continuos*, modalidad ésta mucho menos estudiada en la literatura, y que aporta un mayor grado de realismo y flexibilidad a las simulaciones. También aquí los resultados vuelven a coincidir, justificando así el tratamiento del DP tradicional —y por extensión otros juegos— como un caso particular de un DP continuo.

3. En todos los experimentos en general, pero de forma más relevante en aquellos que reproducían las condiciones estipuladas en las simulaciones de Skyrms, la herramienta *Bichos* contribuye a destacar la influencia que tienen sobre el curso evolutivo las diferentes *reglas de transición* (Replicator dynamics es la más estudiada, pero no por ello la única). En relación con los juegos Partir la tarta y Ultimátum⁵⁹⁷, las simulaciones ejecutadas con *Bichos* coinciden totalmente con las de Skyrms, siempre que los tipos de estrategias y el entorno sean las especificadas en los modelos de este autor. Entre estas condiciones que definen el entorno estarían dichas reglas de transición, cuya modificación arroja en estos casos resultados diferentes. Tener a la vista diferentes reglas de transición no es una mera curiosidad caprichosa, sino que unas y otras tienen su equivalente en diversas reglas de decisión racional individual (MaxiMax, MaxiMin, maximización de la utilidad esperada), tal como se explicó en 3.3.1. Por ello mismo, también quedó de manifiesto que éstas últimas simulan mejor procesos de evolución cultural, mientras que Replicator dynamics sería más apropiada como modelo de evolución biológica⁵⁹⁸.
4. Todas las disposiciones que concuerdan con nuestras intuiciones morales, tales como cooperación, equidad, cumplimiento (aun de castigos que toman la forma de amenazas irracionales) son mucho más estables cuando la herencia de dichas disposiciones se produce por imitación que por mera transmisión genética. Esta conclusión no tiene por qué ser tan obvia como podría parecer si reparamos en las reflexiones que cerraban el capítulo 5, acerca de la mayor eficacia adaptativa de las conductas “morales” de ciertos animales sociales, determinadas genéticamente. La evolución cultural permite modificaciones mucho más rápidas y bruscas que la evolución biológica. Pero aunque en principio esto supondría cierta amenaza a la estabilidad de todo aquello que está biológicamente determinado, son sin embargo los modelos de evolución cultural los que

⁵⁹⁷ El segundo es la versión *sucesiva* del primero (véase secciones 4.4 y 4.5).

⁵⁹⁸ La discusión de este punto se encuentra en 3.3.2

mejor dan cuenta del surgimiento y estabilidad de las disposiciones que llamamos morales. Una constatación indirecta de esta afirmación la tenemos al final de la sección 4.3.2, al analizar las dificultades que presentan ciertos modelos que simulan procesos de reproducción sexual.

En definitiva, esta tesis defiende la validez de un modelo y un método para la filosofía moral, desarrollándolo y mostrando cómo es posible extraer conclusiones teóricas relevantes para la reflexión ética y para la teoría de la racionalidad en general, sobre la base que dicho modelo proporciona.

Precisamente por fidelidad a este método, que hunde sus raíces en la filosofía empirista y se ciñe a un marco naturalista, se ha insistido algo más en sus limitaciones que en sus logros. Los límites se muestran sobre todo cuando mediante estos modelos nos aproximamos al problema que presenta una justificación última de la moralidad, si bien conviene recordar que dicho problema tampoco se deja resolver fácilmente desde otras perspectivas más tradicionales. Otro tipo de limitaciones —que no deben confundirse con la que acabo de indicar— se deben simplemente a las restricciones de tiempo y recursos que afectan a cualquier investigación, pero que no afectan en sí al método de la moralidad artificial. Simplemente marcan un punto en una línea de trabajo que sin duda puede desarrollarse en el futuro.

Hay dos grandes direcciones en las que cabe seguir investigando. Por un lado, en un plano puramente teórico hallamos una serie de cuestiones propias de la filosofía moral, relativas a la justificación racional de los imperativos morales y los límites de la maximización de la utilidad esperada como paradigma de conducta racional. En segundo lugar, ya más en el campo de la psicología y la economía experimental, el concepto de racionalidad limitada —que en este trabajo ha recibido un tratamiento secundario⁵⁹⁹— constituye un interesante punto de partida para un estudio descriptivo de cómo toman sus decisiones los sujetos *reales*.

Al margen de estos aspectos teóricos, la segunda línea de investigación apunta a detalles más técnicos, propios de las simulaciones con ordenador. Para ulteriores trabajos en esta línea, la consigna básica sería ampliar las posibilidades de lo que pueden percibir, “decidir” y hacer los agentes artificiales, pero, a la vez, buscando siempre un mayor grado de generalización, que ayude por su parte a simplificar aún más la formalización de los juegos y las condiciones en las que se desenvuelven las simulaciones⁶⁰⁰. La herramienta *Bichos* es suficientemente flexible para

⁵⁹⁹ Cfr. *supra* 2.2.2

⁶⁰⁰ Es un objetivo que quizá no se pueda apreciar bien sin entrar en los pormenores de cómo está escrito el programa, pero que se comprenderá mejor con la siguiente observación. En relación con simulaciones anteriores *Bichos* supone un avance en el sentido de que los agentes artificiales no “perciben” las opciones de un juego como “cooperar” o “defraudar” (o como aceptar o rechazar una oferta, etc.) sino que afrontan cada situación desde la perspectiva, más general y más abstracta, de maximizar más o menos la utilidad propia. (Evidentemente, no maximizar la utilidad

vislumbrar un modelo mejorado, que contando con un criterio cuya generalidad sea máxima, responda al modo en que intuitivamente sabemos reconocer, por ejemplo, que una solución racional y moral en un DP requeriría que cada agente renuncie a maximizar, pero que si el juego es, digamos, Partir la tarta, entonces un jugador debe maximizar “a medias” y el otro totalmente para alcanzar el resultado justo o equitativo. A modo de apunte para el futuro, puedo anticipar que un paso en esta dirección pasaría por diseñar agentes capaces de reconocer lo que sería una solución *cooperativa* de cada juego (según la solución de Nash) que serviría como *punto de referencia* de un resultado aceptable, aunque los agentes artificiales no puedan de hecho establecer ningún tipo de acuerdo, o incluso sean irracionales (en el sentido de no cumplir un acuerdo que hipotéticamente podrían haber establecido).

Por último, cabe indicar brevemente que otra mejora para futuros modelos consistirá en permitir que los agentes artificiales puedan hacerse alguna idea —más o menos acertada— de cuántas interacciones más habrá en un juego iterado, de manera que puedan modificar su patrón de conducta según “creen” que se acercan al final de la serie. Sería una simulación apropiada para discutir la idea de que las estrategias que supiesen cuál es la última jugada de una serie tendrían una ventaja adaptativa (y por ello menor relevancia moral)⁶⁰¹.

Creo poder concluir afirmando que la presente tesis significa una contribución a una línea de investigación ya establecida en filosofía moral, con sus referentes clásicos en la tradición empirista y más recientemente en la teoría de juegos. Y por otro lado es el inicio de un programa de trabajo de amplio alcance, que integra elementos de la biología evolutiva e inteligencia artificial con la ambición de profundizar en la comprensión de nuestra conducta moral, y en cuyo desarrollo espero seguir tomando parte en el futuro.

propia es un principio irracional, cuya inclusión en la teoría de juegos requería una justificación, proporcionada en el llamado “marco ampliado”. *Cfr. supra* 2.1.3 – 2.1.5) Así, por ejemplo, una estrategia evolutivamente estable en un DP también puede resistir invasiones de mutantes si se modifica el entorno para convertirlo en un juego del Gallina. Sin embargo, hay todavía ciertas situaciones (otros juegos) a los que una misma estrategia no se adaptaría con el mismo éxito.

⁶⁰¹ *Cfr. supra* 3.5

Apéndice A

Funcionamiento y empleo de la aplicación *Bichos*

1. Procedimientos de decisión (estrategias) y decisiones (movimientos)

De acuerdo con su acepción más extendida, en teoría de juegos se entiende que una estrategia es un plan que determina las elecciones de un agente bajo todas las circunstancias relevantes⁶⁰². Por ejemplo, si preveo que x será el caso, mi estrategia puede consistir en *hacer* A, o si preveo que x no será el caso, mi estrategia consistirá en *hacer* B. En lo que sigue, a las estrategias entendidas de este modo, es decir, como acciones (elegir cierta fila o cierta columna, cooperar o defraudar, etc.) las denominaré *movimientos*. Y usaré “estrategia” en un sentido que no es del todo diferente, pero que podría dar lugar a errores si se confunde con aquel primer significado. En cuanto a su *función* de tomar decisiones, la nueva acepción tendría su equivalente en lo que Gauthier llama “disposición”, aunque en nuestro caso consistirá además en detallar *cómo* se toma la decisión. Una estrategia, en este modelo informático, es un conjunto de parámetros que definen:

- a) El modo en que un agente recaba información o “percibe” las acciones de otros agentes.
- b) Cómo el agente da una mayor o menor importancia “subjetiva” a esos datos.
- c) Cómo el agente selecciona una determinada respuesta, qué *movimiento* o acción escoge, en función de (a) y (b).

Una estrategia, pues, es en este modelo un algoritmo, un conjunto de pasos a seguir, entre los que se cuentan la recolección de datos (hechos objetivos), qué importancia se da a esos datos (valoración, componente “subjetivo”) y cómo se responde a los mismos⁶⁰³. En suma, *una estrategia no es una opción a elegir, sino un procedimiento que conduce a la elección de una acción.*

⁶⁰² Cfr. Resnik, 1987, p. 18. Véase el capítulo 2.1.4.

⁶⁰³ Términos como “subjetivo” los menciono con frecuencia entre comillas porque son de algún modo una antropomorfización que sólo es legítima cuando se pretende que este modelo sea una representación de lo que un agente humano podría estar haciendo.

2. Introducción general a los parámetros que definen una estrategia

Antes de comenzar, estableceré la convención de escribir en negrita todos aquellos términos que sean nombres de menús, ventanas, botones, opciones o archivos del programa. Por ejemplo: desplegar el menú **Transition rules**. Cuando una determinada opción o la realización de acción requiera pasar por varias ventanas o menús, indicaré esta sucesión con una flecha (→). Por ejemplo, para seleccionar un tipo de vecindario haga click en **Start → Neighb. → Moore**. De acuerdo con la terminología habitual en estos casos, *doble click* indica dos pulsaciones rápidas con el botón primario del ratón, *click* es una pulsación con el botón primario del ratón, y *click sec.* es una pulsación del botón secundario del ratón. Mover el ratón mientras se mantiene pulsado el botón primario del ratón se conoce como *arrastrar*.

Es muy difícil explicar el funcionamiento de una estrategia de forma puramente lineal. Por ello iré avanzando gradualmente, desde lo más general a lo más particular, y en ocasiones será preciso volver a explicaciones previas para comprender la idea global. Esto se debe a que los diversos parámetros que definen una estrategia no funcionan de manera aislada, sino que tienen cierta unidad orgánica —si se me permite la analogía—, de manera que el todo se comprende a través de sus partes, pero éstas, a su vez, carecen de sentido si no es por referencia al todo⁶⁰⁴.

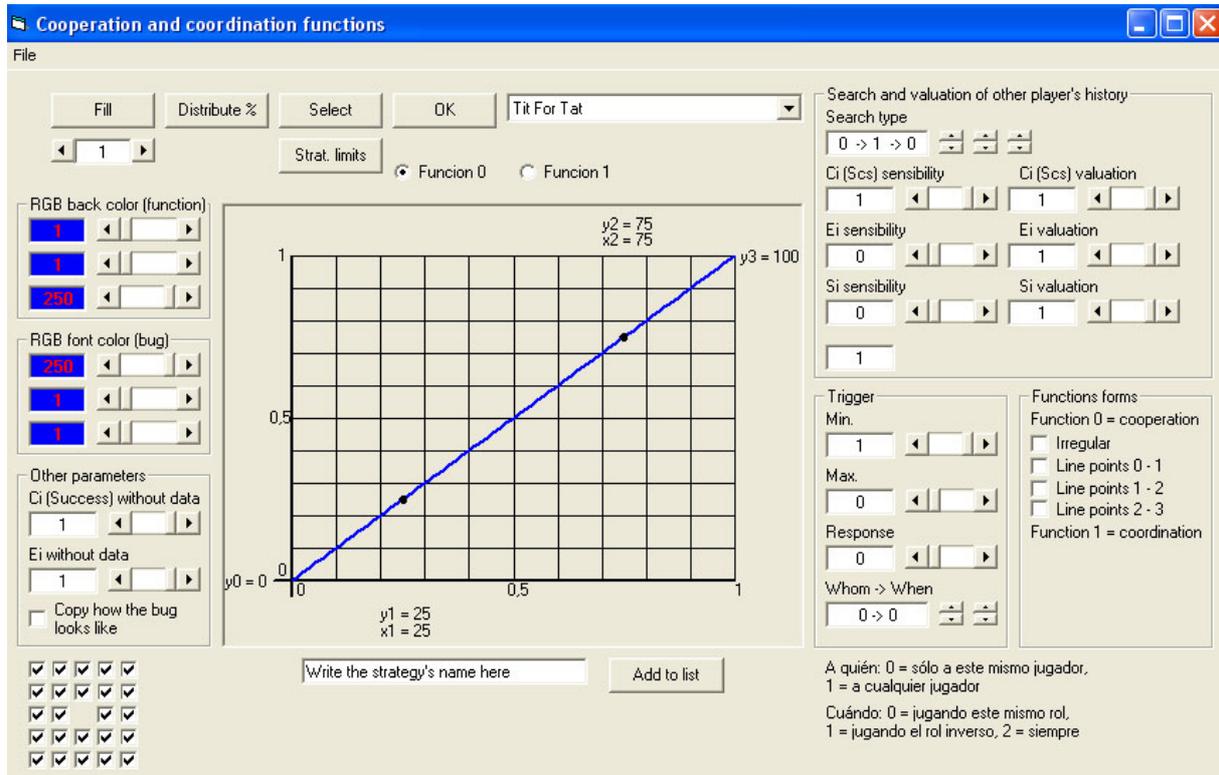
Todos los parámetros que a continuación detallaré se pueden observar y modificar en la ventana **Edición de estrategias**. Se puede acceder a ésta haciendo click:

- En cualquiera de los recuadros del vecindario ampliado que se encuentra en la zona izquierda de la ventana que contiene el mapa (dicho vecindario lleva el rótulo **Previous state of a neighbourhood**, y en él se pueden ver los resultados obtenidos por ciertos jugadores en la generación que acaba de concluir). Se abrirá entonces la ventana **Edición de estrategias**, que mostrará la estrategia que haya sido marcada con el ratón, esto es, la estrategia utilizada *en la generación que acaba de concluir* por el jugador cuyo número aparece en negrita sobre el cuadrado marcado.
- En el rectángulo que se encuentra encima del mapa, que lleva el rótulo **Selected strategy**. En este cuadro se muestra el nombre de una cierta estrategia, que por estar seleccionada podrá implementarse en cualquier agente del mapa haciendo doble click sobre él. Además, entre las estrategias presentes en el mapa (las de los agentes que actualmente ocupan cada casilla) se puede seleccionar cualquiera de ellas haciendo click derecho sobre cualquier celda del mapa.

⁶⁰⁴ Ésta es la razón por la cual en esta simulación es difícil construir un modelo de reproducción sexual, mediante el cruce de diversas variables procedentes de dos estrategias diferentes. Para que estos cruces tuviesen el éxito adaptativo que la reproducción sexual confiere a los organismos reales, sería preciso un modelo mucho más detallado y un conocimiento más preciso del modo en que los diferentes genes de un organismo trabajan juntos. Una discusión de este problema se encuentra en el capítulo 4.3, en relación con los algoritmos genéticos empleados por Axelrod.

Aparecerá entonces la ventana **Edición de estrategias**⁶⁰⁵, que presenta este aspecto:

Figura 23



Ahora veremos en concreto los tres aspectos que definen el comportamiento de una estrategia, adelantados en la sección anterior.

- En **search type** se indica *de quién, en qué cantidad y en qué casos* serán observadas las conductas ajenas. Allí vemos tres cifras separadas con una flecha. La primera puede adoptar 5 valores (0, 8, 16, 24 y 32) de los cuales sólo nos interesarán los tres primeros. La segunda puede adoptar valores entre 1 y 15, y la tercera entre 0 y 2. El significado preciso de estos números se explica más abajo, en el epígrafe 4.
- Inmediatamente debajo encontramos otros tres rectángulos, que llevan las inscripciones **Ci sensibility**, **Ei sensibility** y **Si sensibility**, y que abreviaré como **Ci sen**, **Ei sen** y **Si sen**. En las simulaciones de esta tesis sólo empleamos los dos primeros, que indican qué peso relativo da una estrategia a los distintos tipos de información contenidos aquellos datos observados (a). De una interacción observada se puede extraer, por un lado, en qué medida ha habido

⁶⁰⁵ Veremos que el título de la ventana es **Cooperation and coordination functions**. Aunque casi todas las ventanas, menús y botones están en inglés, me referiré a esta por su nombre en español: ventana **Edición de estrategias** o también, para simplificar, **Editor de estrategias**.

cooperación y, por otro, en que grado el resultado ha sido equitativo⁶⁰⁶. Podemos llamar a estas variables “sensibilidad al grado de cooperación” y “sensibilidad al grado de equidad”. La suma del valor estas variables será siempre 1. La explicación detallada de estos parámetros se encuentra en el epígrafe 5.

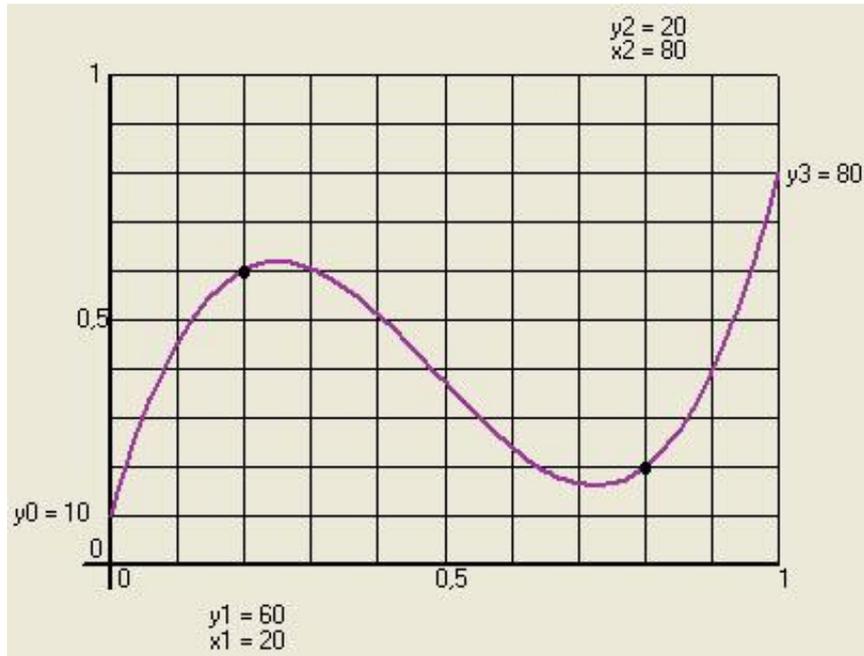
- c) Las variables descritas en (a) y (b) operan sobre los datos proporcionados en interacciones previas, dando lugar a un cierto valor, x , que será el argumento de una de las dos funciones que componen un algoritmo de cooperación. Más abajo, en el punto (e) se explica qué representan estas funciones. Este valor de x será la *entrada (input)* resultante tanto de las acciones observadas en otros agentes como de la importancia concedida a las mismas. La *salida* o valor de la función, y , para cada x , será el *grado* de cooperación que la estrategia en cuestión seleccionará como acción. Es importante notar que tanto x como y están comprendidos en el intervalo *continuo* entre 0 y 1. Tradicionalmente se plantean los juegos en términos de cooperación o fraude absolutos, o cualquier otro conjunto de estrategias (ahora en el sentido clásico del término) *discretas*. En este modelo se puede cooperar *más o menos*, correspondiendo el 0 a la acción que perjudica totalmente los intereses ajenos, y 1 a la acción que más los tiene en consideración⁶⁰⁷.
- d) Una estrategia cuenta también con dos variables que indican qué grado de cooperación y equidad se atribuye a un cierto agente *cuando no se dispone absolutamente de ningún dato sobre él*. La incertidumbre total no tiene por qué equivaler a 0.5, aunque se pueda discutir si esto es racional o no. Sea como fuere, las estrategias del juego pueden *o no* ser racionales. En el **Editor de estrategias** (figura 23) esos valores se leen y se modifican en las dos casillas que llevan los rótulos **Ci without data** y **Ei without data** (zona inferior izquierda de la ventana).
- e) Volviendo a las funciones de cooperación y coordinación, cada estrategia cuenta con dos grupos de seis variables, y_0, x_1, y_1, x_2, y_2 e y_3 , que junto con las constantes x_0 y x_3 (siempre valen 0 y 1, respectivamente) definen cuatro pares de puntos por los que pasará cada una de las dos funciones. En el **Editor de estrategias** pueden verse dos opciones, **Function 1** y **Function 2**. Si está seleccionada la primera, la función que se mostrará en el sistema de

⁶⁰⁶ Por ejemplo, si en el DP un jugador coopera y el otro no, el primero ciertamente ha cooperado, pero no ha alcanzado un resultado *equitativo*, como sería el caso si *ambos* hubiesen cooperado.

⁶⁰⁷ Aunque aquí, pues, las estrategias (como *cursos de acción* a escoger) son infinitas, sin embargo se hallan todas comprendidas entre dos extremos bien definidos, correspondientes a una matriz de pagos clásica (número finito de estrategias). Por lo tanto, esta potencial infinitud de cursos de acción no queda fuera del alcance del teorema de Nash. En la sección 4.2 se aclara más este punto, en relación con las situaciones en las que la elección racional consiste en aplicar estrategias mixtas.

coordenadas será la función de *cooperación*; si está seleccionada la segunda, veremos la función de *coordinación*. En la siguiente imagen puede verse como ejemplo una función definida por los puntos: $y_0 = 0.1$, $x_1 = 0.2$, $y_1 = 0.6$, $x_2 = 0.8$, $y_2 = 0.2$ e $y_3 = 0.8$ (en el gráfico estos valores aparecen multiplicados por 100, es decir: 10, 20, 60, etc.).

Figura 24



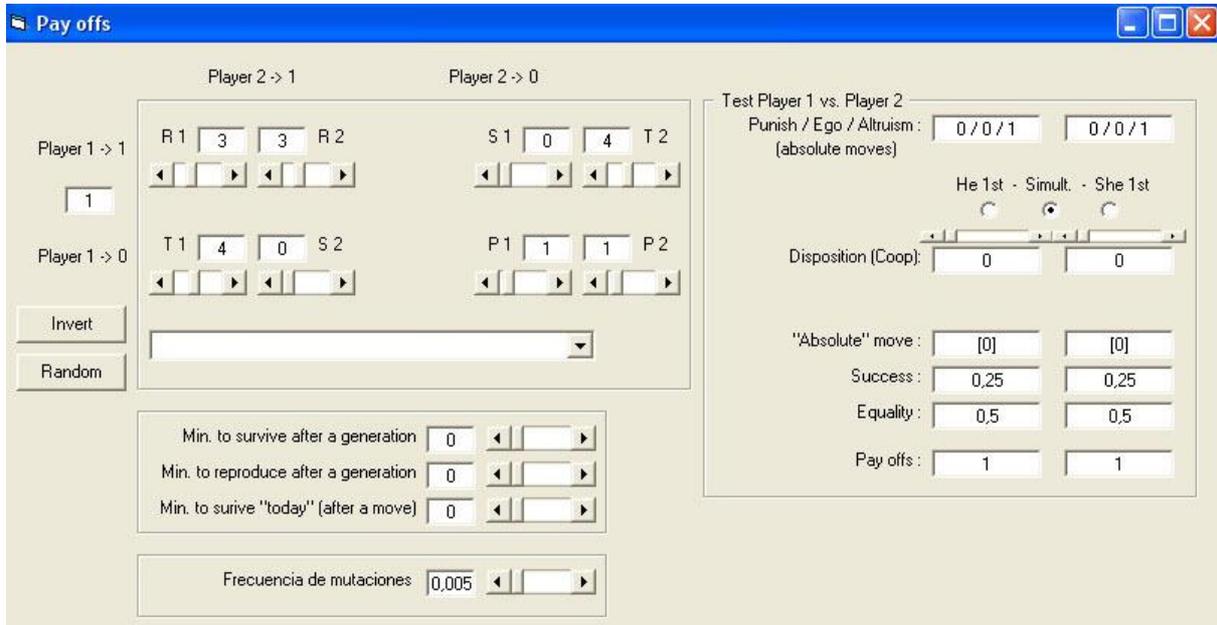
Las variables y_0 y y_3 se modifican arrastrando arriba y abajo *fuera* del gráfico, es decir, en las zonas $x < 0$ y $x > 1$, respectivamente. Las variables x_1 , y_1 , x_2 e y_2 se modifican arrastrando el ratón dentro del área delimitada por las rectas $x = 0$, $x = 1$, $y = 0$, $y = 1$. En el eje Y se representa la acción concreta, el *movimiento*, que una estrategia dará como respuesta para un cierto valor de x , resultante de la observación y evaluación tanto de movimientos ajenos como de las etiquetas de los agentes.

Lo que describiré a continuación se encuentra expuesto con más detalle en el capítulo 4.5, en relación con el concepto de racionalidad modular⁶⁰⁸. De todos modos es necesario explicar aquí la necesidad de estas *dos* funciones, siquiera someramente, para comprender el resto de parámetros que definen una estrategia. La función de *coordinación* establece las respuestas en aquellas situaciones en las que los intereses propios *coinciden* con los intereses ajenos; esto implica que en tales situaciones existe la posibilidad de castigar, es decir, que si perjudico los intereses del otro, esto supone al mismo tiempo un coste para mí.

⁶⁰⁸ Esta noción está emparentada con el equilibrio perfecto en subjuegos de Selten, según puede verse en el capítulo 4.4. Hago esta aclaración porque para la comprensión del esbozo que realizaré a continuación tal vez sirva de ayuda esta referencia al problema de las amenazas no creíbles.

Como pura convención, la acción que más beneficia los intereses *del otro agente* se representa como 1. Aunque esto se verá más claramente cuando en el epígrafe 7 nos ocupemos de los pagos que definen un juego (ventana **Pay offs**), haré ahora un breve comentario al respecto.

Figura 25



En esta ventana, el recuadro **Test Player 1 vs. Player 2** contiene dos casillas junto a las cuales puede leerse **Punish/Ego/Altruism** (castigo, egoísmo, altruismo). Los valores para “castigo” y “altruismo” serán siempre 0 y 1, respectivamente, mientras que el valor del “egoísmo” podrá variar. Así, si al “egoísmo” le correspondiese 1, eso indicaría que en esa situación la acción egoísta, la búsqueda del interés propio, consistiría *también* en mover 1, es decir, hacer lo que maximiza los pagos ajenos⁶⁰⁹. Por su parte, en la matriz de pagos que puede verse y modificarse en la zona izquierda de esta ventana, se indican a qué movimientos (fila superior o inferior, columna izquierda o derecha) corresponderían el 0 o el 1, dada una cierta distribución de los pagos. La función de cooperación representa lo que una estrategia hace en situaciones en las que los intereses ajenos *no* coinciden —al menos en parte— con los propios. Aquí no hay posibilidad de castigar directamente, y cuanto más tiende la acción a buscar el beneficio propio, tanto más perjudica los intereses del otro. En estos casos de lo que se trata es de *cooperar* más o menos. La estrategia que me procura el mayor beneficio, sea dominante o mixta, estará por ello mismo *minimizando* los pagos ajenos.

⁶⁰⁹ En la figura 25 esto no es el caso, precisamente porque si observamos la matriz de pagos que hay a la izquierda reconoceremos la estructura del DP.

En el juego del Ultimátum, por el contrario, los jugadores necesitan emplear los dos tipos de funciones, dependiendo de la situación en la que se encuentren⁶¹⁰. El jugador que hace una propuesta (J1) juega de acuerdo con la segunda función (Ego = 0): cuanto más se quede para sí, menos le está ofreciendo al otro, y viceversa. Por otra parte, quien tiene que aceptar o rechazar (J2) está jugando según la primera función (Ego = 1): lo que más le conviene es aceptar —haya ofrecido J1 lo que fuere—, lo cual es también lo que más beneficia a J2. Por el contrario, si J2 rechaza la oferta salen perjudicados los dos. J2 está minimizando la utilidad de J1, al coste de minimizar también los suyos.

La utilización en este juego de las dos curvas se debe a que estructuras como la del juego del Ultimátum, o el juego del Gallina con jugadas sucesivas, no pueden ser jugadas de manera totalmente versátil —y *versátil* no significa aquí necesariamente *inteligente*— con una sola función para ambas situaciones⁶¹¹.

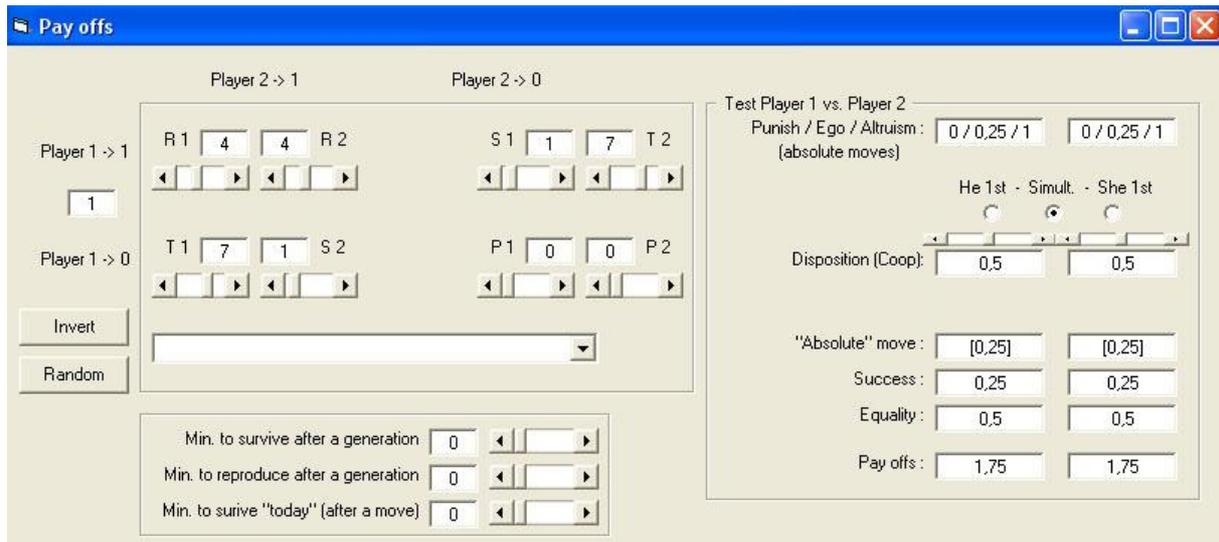
3. Estrategias mixtas

Sólo cuando la matriz de pagos determina una situación en la que el equilibrio de Nash se halla en la aplicación de un par de estrategias puras (una para cada jugador), el valor y de la función corresponde siempre los movimientos efectivos del agente, es decir, la acción concreta comprendida en el continuo 0 – 1. Como ya quedó dicho, 0 representa siempre la “desconsideración” por los pagos ajenos (ya sea por egoísmo o por “ánimo” de castigar) y 1, al contrario, indica “atención” hacia el interés ajeno (bien sea por egoísmo, cuando el caso requiere mera coordinación, o por altruismo, cuando los intereses están en conflicto). Por el contrario, cuando el equilibrio consiste en la aplicación de estrategias mixtas, se considera que el *movimiento* 0 es el castigo, 1 el altruismo, y p (comprendido entre 0 y 1, pero sin incluir estos valores extremos del intervalo) representa el egoísmo. Este valor, p , indica la probabilidad con la que se debe escoger uno de los movimientos *extremos* (0 o 1) a fin de maximizar la utilidad esperada. Veámoslo tomando el juego del Gallina como ejemplo, tal como aparecería representado en la ventana de **Pay offs**.

⁶¹⁰ La explicación y el análisis de este juego se hallan en la sección 4.5.

⁶¹¹ Aunque no nos referimos a él en esta investigación, el juego del Gallina *sucesivo* requiere también el uso de las dos funciones. Evidentemente, en su versión extendida este juego pierde su referencia a la historia que le da nombre, pero como construcción abstracta adquiere un nuevo atractivo. Si el jugador que mueve primero (J1) coopera (“apartarse”), entonces las respuestas de J2 se presentan en el marco de la función de cooperación: si J2 defrauda (“seguir adelante”) conseguirá con ello su mejor resultado, y aunque no deja para J1 el peor resultado (pues el peor resultado es que ambos defrauden) sí es cierto que de haber cooperado, los intereses de J1 se habrían visto favorecidos. En cambio si J1 mueve primero y defrauda, las opciones de J2 se resuelven en la función de *coordinación*: aunque queda como un “gallina”, el interés de J2 *coincide* con el de J1; y por ello mismo puede *castigar* a J1, defraudando también, al precio de obtener también J2 su peor resultado. El juego del Gallina extendido puede verse como un modelo de la situación que se le presenta a una empresa que debe decidir si entra o no en un mercado dominado por un monopolista. Para una introducción al juego del Gallina véase el capítulo 4.2.1.

Figura 26



Consideremos la situación desde el punto de vista del jugador que escoge filas (J1). Independientemente de lo que haga el jugador que elige columnas (J2), si J1 mueve 1 está propiciando que J2 obtenga *sus* mejores resultados posibles, pues $4 > 1$ y $7 > 0$. Dicho de otro modo, si mirásemos la matriz de pagos *como si* los pagos de J1 fuesen los de la casilla derecha de cada par de resultados, diríamos que mover 1 es la estrategia *dominante* de J1⁶¹² (obviamente se entiende aquí el término “estrategia” en su acepción tradicional, como curso de acción). Si J1 mueve 0, quizá obtenga *su* mejor resultado (si J2 mueve 1), o puede que también el peor (si J2 mueve 0). Se entenderá mejor la afirmación de que mover 0 es una conducta de castigo si se piensa que la estrategia 0, considerada *como si* los pagos de J1 fuesen los de J2, está estrictamente dominada: $1 < 4$ y $0 < 7$. Es decir, cuando J1 mueve 0 está condenando a J2 a sus peores resultados, aun a riesgo de obtener también él (J1) un resultado pésimo. Tal como apunté anteriormente en una nota, esta idea cobra todo su sentido al considerar un juego del Gallina con movimientos *sucesivos*. Si J1 elige defraudar (mover 0), a J2 le conviene cooperar (mover 1); pero si J2 responde también defraudando, además de salir peor parado, está a la vez perjudicando a J1.

Para estos casos, pues, considero que en la *disposición* expresada por la función de cooperación, el punto intermedio entre la consideración (1) y la desconsideración (0) extremas hacia los intereses ajenos, equivale a la probabilidad que una estrategia mixta asignaría a la elección de la estrategia pura cooperativa. De este modo somos indiferentes hacia los pagos

⁶¹² Esta idea de jugar intentando maximizar la utilidad del otro jugador contradice —o mejor dicho, *se sale de*— las definiciones de la teoría de juegos clásica, al menos tal como la entienden los economistas. El capítulo 2.1.5 está dedicado a la justificación de este enfoque.

ajenos (ni ayudamos ni castigamos *del todo*), consistiendo nuestro egoísmo en que lo único que nos importa es *maximizar nuestra* utilidad esperada. Y para este tipo de situaciones donde ningún jugador dispone de una estrategia pura, dicha maximización se logra mediante el uso de una estrategia mixta.

Ahora bien, al inicio de este epígrafe indiqué que cuando no hay estrategias puras el grado de cooperación expresado en el valor y que toma la función no coincidirá necesariamente con los movimientos efectivos⁶¹³. Tomemos el juego del Gallina con los pagos representados en la figura 26). Si dado cierto valor de x , una estrategia responde con $y = 0.5$, esto no significa que *moverá* 0.5; lo que significa es que su disposición es simplemente egoísta, por cuanto no busca perjudicar los intereses del otro jugador ($y = 0$), pero tampoco favorecerlos ($y = 1$). Es decisivo comprender el siguiente punto. Dado un jugador J1, si en muchos juegos⁶¹⁴ el programa identifica el egoísmo como $y = 0$, la razón es que mover 0 sería para J1 su estrategia dominante; que con ello además minimice la utilidad de J2, es —digamos así— un efecto secundario. Volviendo a la situación concreta que nos ocupa, para ajustarse al imperativo egoísta (indicado por $y = 0.5$) lo que debe *mover* es 0.25. Si atendemos a las casillas **Disposition** y **Absolute move** veremos que cuando la disposición es 0.5 el movimiento es 0.25. Podemos ir desplazando la barra **Disposition** a la izquierda y a la derecha y encontraremos que los valores de **Disposition** y **Absolute move** sólo coincide en los puntos extremos, cuando la disposición es 0 o 1. Ambos valores sólo pueden coincidir siempre cuando la distribución de pagos sea tal que la estrategia mixta consista en jugar cada estrategias pura con probabilidad $p = 0.5$.

Así, las funciones representan disposiciones que podríamos llamar *formales*, y que dependiendo de cómo estén distribuidos los pagos obtienen su *materia*, o acción efectiva, tomando como referencia un punto medio correspondiente a la mejor estrategia mixta. Por ello también en el cuadro **Punish/Ego/Altruism** se especifica que los valores que allí indicados son movimientos absolutos.

Para terminar este epígrafe conviene mencionar un aspecto al que todavía no me he referido en estas instrucciones, pero que está suficientemente discutido en el capítulo 4.3, relativo a los juegos *continuos*. Como ya he adelantado, en este programa los cursos de acción que puede escoger un algoritmo no son sólo los extremos indicados en la matriz de pagos (por ejemplo, en el DP, cooperar y defraudar) sino que comprenden también opciones intermedias, es decir, defraudar *más o menos*. En el capítulo 4.3 explico como de estos movimientos intermedios resultan pagos proporcionales a las decisiones de ambos jugadores. Lo que ahora hay que señalar es que cuando un algoritmo da como respuesta $y = 0.5$ no está por ello escogiendo al azar (con

⁶¹³ Esto dependerá de la distribución concreta que presenten los pagos en la matriz, según explicaré enseguida.

⁶¹⁴ Juegos que tienen su equilibrio en un par de estrategias puras.

probabilidad p) alguno de los cursos de acción extremos. Lo que está haciendo es escoger un movimiento intermedio p . Sin embargo, este movimiento coincide en un aspecto con la elección al azar, según una probabilidad p , que caracterizaría a una estrategia mixta. La utilidad esperada de esta estrategia mixta es idéntica a la utilidad “intermedia” que ambos jugadores obtienen *efectivamente* —y no como utilidad *esperada*— si escogen el movimiento p .

En el siguiente apartado desarrollaré el punto (a) introducido en el epígrafe 2, esto es, cómo una determinada estrategia observa y valora a los agentes de su entorno. Habíamos hablado de *sensibilidades* a distintos tipos de datos. Además, hemos visto qué es lo que representan las funciones de cooperación y coordinación. En relación con esto, y a fin de alcanzar esa perspectiva “orgánica” en la comprensión de estos algoritmos, conviene anticipar brevemente, qué forma adoptaría una estrategia que no sea *sensible*⁶¹⁵. Una estrategia así podría tener cualquier valor en los parámetros **Ci Sen** y **Ei Sen**, y podría también observar rangos muy diversos de jugadas (esto quedará claro en el epígrafe 6). Lo que caracterizará a estos algoritmos insensibles es que su función (o funciones) son constantes, es decir, y toma siempre el mismo valor, sin depender en absoluto del valor de x (gráficamente tendrán el aspecto de una línea horizontal).

4. Tipos de búsqueda y profundidad: cómo obtienen datos las estrategias

Llamaré “búsqueda” al modo en que un jugador (J1) adquiere información sobre la conducta del otro jugador (J2) con el que tiene que interactuar en un momento dado. Hay tres *tipos de búsqueda*, denotados por la primera cifra del cuadro **Search type**⁶¹⁶:

- 1) Tipo 0: J1 mira sólo los últimos n movimiento que J2 ha hecho *contra J1*. Es decir, no atiende a lo que J2 haya hecho contra otros jugadores (los denominaré genéricamente J3, pero no se trata de *un* jugador, sino de cualquiera que no sean J1 ni J2). Si J1 y J2 nunca han jugado previamente, J1 asigna ciertos valores (**Ci without data** y **Ei without data**) al grado de cooperación y de altruismo que atribuye a J2. Estos valores equivalen al concepto de creencia inicial (*prior belief*), habitual en teoría de juegos, y así me referiré a ellos en lo que sigue.
- 2) Tipo 8: igual que el Tipo 0, pero a falta de cualquier información sobre las partidas previas entre J1 y J2, J1 observa los últimos n movimientos que J1 ha realizado contra J3. Si tampoco ha habido partidas previas entre J2 y J3, J1 asigna también a J2 los valores contenidos en su creencia inicial.

⁶¹⁵ Con “sensible” me refiero a lo que Danielson llama “responsive”, es decir, estrategias que no se comportan siempre del mismo modo, como por ejemplo los cooperadores condicionales.

⁶¹⁶ Las denominaciones de estos tipos (0, 8 y 16) son en principio arbitrarias, aunque sus orígenes “binarios” saltan a la vista. No son muy vistosos, pero los conservo así porque contribuyen a acelerar la ejecución del programa.

- 3) Tipo 16: J1 mira qué ha hecho J2 en sus últimos n movimientos contra *cualquier jugador* (J1 y J3). Si no ha habido ninguna jugada previa, atribuye a J2 los valores de su creencia inicial.

El segundo número de **Search type** representa lo que llamaré “profundidad” de la búsqueda: a J1 le puede interesar lo que J2 ha hecho sólo en su último movimiento⁶¹⁷, o en los dos últimos, o en los cinco últimos, etc., hasta 15⁶¹⁸. El modo en que J1 ha observado el historial de J2 se puede ver en la ventana de **Detalles (Interaction details)**, a la que se accede haciendo click en cualquier casilla de la columna **Num** en la tabla de **Resultados**: es la pequeña tabla situada en la esquina inferior izquierda de la ventana **World**.

Figura 27

987	<- Player			Rivals			
Si	Ci R	Ei R	Disp	Num	Ci P	Ei P	Disp
0,57	0,25	0,62	0,01	964	0,02	0,38	0,25
0,67	0,4	0,69	0,03	985	0,03	0,31	0,41
0,89	0	0,5	0,01	989	0,01	0,51	0
0,6	1	0,99	0,11	960	0,02	0,44	1
0,69	0	0,49	0,01	14	0,01	0,51	0
0,63	0,08	0,53	0,01	935	0,01	0,45	0,06
0,63	0,33	0,65	0,02	39	0,01	0,35	0,34
0,66	0,02	0,51	0,01	936	0	0,49	0,03
0,88	0,01	0,5	0,01	38	0,01	0,5	0,01

Por ejemplo, si en esta tabla de **Resultados** hacemos click en la casilla con el número 936 (azul claro) aparecerán el historial, hasta esa partida, de todos los movimientos del jugador 936, y cómo “las ha visto” el jugador 987. Haciendo click derecho se verá, a la inversa, el historial del jugador 987, y cómo lo ha visto el jugador 936. La función de la tabla **Resultados** es mostrar en tiempo real tanto los datos observados (*inputs*) como los movimientos (*outputs*) resultantes de las interacciones entre un cierto jugador (aquí el 987). A este jugador cuyos movimientos y vecindario estamos considerando será el *jugador seleccionado*. Aparece también en la casilla central del vecindario ampliado (**Previous state of a neighbourhood**) rodeado de los individuos con los que interactúa.

⁶¹⁷ Tal sería el caso de Toma y Daca, por ejemplo.

⁶¹⁸ Esta limitación de no tener más capacidad que para recordar las últimas siete partidas observadas responde en principio a necesidades relativas al ahorro de memoria. Aunque su extensión es relativamente sencilla, por el momento creo que es una cantidad suficiente.

Figura 28



Finalmente, la última cifra de la casilla **Search strategy** indica el *caso* en que J1 se interesa por los movimientos anteriores de J2.

- 1) Caso = 0. Entre las jugadas filtradas por los criterios anteriores (tipo de búsqueda y profundidad) J1 sólo mira aquellas interacciones de J2 en las que éste ha desempeñado el mismo papel que en la jugada presente.
- 2) Caso = 1. Entre las jugadas filtradas por los criterios anteriores, J1 sólo atiende a las interacciones de J2 en las que éste ha jugado el papel *opuesto* al que le ha tocado en la jugada presente.
- 3) Caso = 2. También filtradas las jugadas por el tipo de búsqueda y la profundidad, J1 mira *todas* las interacciones de J2, independientemente del papel que haya jugado.

El papel del que hablo aquí se refiere a la función (cooperación o coordinación) que el jugador ha tenido que emplear, dependiendo de la situación en la que se encontraba. Esto es especialmente relevante en juegos como el Ultimátum, donde no se puede analizar del mismo modo lo que un agente hace si está en condiciones de hacer una oferta que si su decisión consiste en aceptar o rechazar la propuesta. Para situaciones como ésta lo más sensato sería atender a lo que el otro jugador ha hecho ocupando el mismo papel que en la jugada actual (Caso = 0). Sin embargo, para dar cabida a toda clase de estrategias he incluido aquellas otras posibilidades menos “racionales” (Caso = 1 y Caso = 2).

Lógicamente, si el jugador seleccionado interactúa repetidamente con sus rivales, éstos aparecerán más de una vez en la lista **Resultados**. Volviendo a la figura 27, en las columnas **Si**, **Ci R**, **Ei R**, **Disp** se indica cómo el jugador seleccionado (987) ha visto y valorado a su rival. Bajo estas cabeceras aparecen el *índice de semejanza* (**Si**), el *índice de cooperación* del rival (**Ci R**) y el *índice de equidad* del rival (**Ei R**)⁶¹⁹. **Disp** (*disposición*) es la respuesta *formal*⁶²⁰ dada a cada vecino, y que mide siempre el interés por los pagos ajenos (ya sea cooperación o coordinación). A la inversa, **Ci P**, **Ei P** y *también Si* —pues es el mismo valor para ambos— son las entradas de cada *rival* en esa interacción concreta, y **Disp**, nuevamente, la respuesta que ha dado cada uno al jugador seleccionado.

Cada interacción da como resultado unos ciertos grados de cooperación y de equidad. En el siguiente epígrafe se explicará cómo se miden estas magnitudes. Para concluir este apartado nos falta todavía echar un vistazo a la ventana **Detalles**, de la que habíamos hablado poco atrás. Dos ejemplos de lo que puede verse en esta ventana los tenemos en las figuras 30 y 31 del siguiente epígrafe, que acompañarán el ejemplo concreto de cómo funciona una estrategia. Por el momento sólo haré una observación sobre los valores que se muestran en **Detalles**.

En las tablas correspondientes se pueden leer los grados de cooperación y equidad que un cierto agente “observado” (J2) ha mostrado en cada una de sus interacciones. Entre estos valores, aparecen marcados en negrita aquellos que el “observador” (J1) tiene en cuenta al evaluar el historial de J2. La media aritmética de estos valores observados constituye lo que inductivamente el agente B “espera” será el grado de cooperación o equidad que A exhibirá en la *próxima* interacción (es decir, en la que inmediatamente tendrá lugar entre ellos, J1 y J2). Se trata a todas luces de un procedimiento muy burdo de intentar predecir el futuro en función de lo observado en el pasado. No es una actualización de creencias que se ajuste a la regla de Bayes. Pero en realidad ningún algoritmo intenta predecir ni espera nada. Este modo de expresarlo es un intento de hacer más comprensible el tipo de proceso que tiene lugar en estos agentes artificiales. Esta recogida de datos de la que se obtiene una media es arbitraria (recordemos que una estrategia no tiene por qué prestar atención a todas las interacciones que nosotros consideraríamos relevantes) y lo que es más importante, posteriormente se ve sometida a una serie de operaciones adicionales, las cuales veremos en el siguiente epígrafe. Estas operaciones pueden distorsionar mucho aquel promedio recogido inicialmente, y simplemente dan como resultado un cierto valor

⁶¹⁹ En las simulaciones de esta investigación he prescindido totalmente del índice de semejanza, y por lo tanto no me ocuparé de él. En ciertos modelos la función de éste es permitir que los jugadores se reconozcan según “etiquetas”. Aquí, estas marcas serían el color del jugador. En principio un mismo color estaría asignado a un único tipo de estrategia, pero podría haber mutantes que se disfrazan con colores de otros algoritmos. Sería una forma primitiva de señalización que incluso incorporaría la posibilidad de emitir señales falsas.

⁶²⁰ Recuérdesse la distinción introducida en el epígrafe 4 entre el grado de cooperación *formal* con el que responde un algoritmo y el movimiento *material* que produce. La distinción sólo era relevante en juegos que requieren el uso de estrategias mixtas.

x que determinará la respuesta concreta y seleccionada por la estrategia. Esta respuesta, por su parte, tampoco tiene que guardar ningún tipo de proporcionalidad con el “estímulo” x . En principio no hay, pues, un modo inteligente de sacar conclusiones. He buscado deliberadamente que esto sea así para evitar cualquier sesgo inicial tendiente a generar estrategias que razonan correctamente. Sin embargo, los experimentos virtuales muestran que los algoritmos capaces de cálculos más regulares y “sensatos” suelen ser favorecidos por la mecánica darwinista implementada en el programa. Esta mecánica es el único supuesto de la simulación.

5. Tipos de sensibilidad: cómo las estrategias distribuyen su “atención”

Otros parámetros importantes que definen una estrategia son los que determinan qué grado de atención se presta a los diferentes datos observables en los rivales. A fin de ir aclarando este punto desde el principio conviene pensar que esta “distribución” es semejante al procedimiento que puede emplear un profesor para determinar la nota de un alumno. Se asignan ciertos pesos relativos o grados de importancia al examen escrito, a la participación en clase o incluso al buen comportamiento. Las notas obtenidas en estas pruebas se multiplican independientemente por aquellos coeficientes y se suman; de aquí sale la calificación final.

Son dos los aspectos que una estrategia podrá tener en cuenta:

- a) El grado de cooperación (índice de cooperación = **Ci**) o la medida en que un agente ha demostrado “preocuparse” por los intereses ajenos, independientemente de si esto respondía a su propio interés (*coordinación*) o si era auténtico altruismo (*cooperación*). Este grado de cooperación se refleja *siempre* en el valor y de la función, incluso en aquellos casos en que dicho valor no coincide con el movimiento material (juegos con estrategias mixtas). La razón es que si se conocen los pagos del juego, el grado de cooperación se puede deducir de los movimientos reales de los agentes.
- b) El grado de equidad (índice de equidad = **Ei**). Esta variable mide la relación que hay entre los grados de *éxito* alcanzado por un par de jugadores en una cierta jugada. Por su parte, el éxito se mide como el cociente entre: a) el pago realmente obtenido (P) menos el pago más bajo posible entre los disponibles en la matriz para ese jugador (m), dividido por b) el mayor pago posible (M) menos el menor pago posible (m) (pagos del jugador en cuestión)⁶²¹.

$$E = \frac{P - m}{M - m}$$

⁶²¹ Especifico “para un cierto jugador” porque en *Bichos* es posible definir juegos con pagos asimétricos.

Por ejemplo, en el siguiente dilema del prisionero:

Tabla 37

Dilema del Prisionero		Jugador 2	
		mover 1	mover 0
Jugador 1	mover 1	3 ; 3	1 ; 4
	mover 0	4 ; 1	2 ; 2

Si los dos defraudan, el grado de éxito obtenido por cada uno es: $(2 - 1) / (4 - 1) = 0,33$. El grado de equidad se expresa, a su vez, como 1 menos el valor absoluto de la diferencia entre los grados de éxito de ambos jugadores. En este caso: $1 - |0,33 - 0,33| = 1$, o sea, que el resultado de su interacción, independientemente de la cooperación aportada por cada uno, ha sido totalmente *equitativo*. Sin embargo, si uno coopera totalmente (1) y el otro defrauda totalmente (0), la equidad es mínima, puesto que el grado de éxito de quien defrauda es $(4 - 1) / (4 - 1) = 1$, mientras que el grado de éxito de quien coopera es $(1 - 1) / (4 - 1) = 0$. La diferencia entre estos valores es máxima, y la equidad, por tanto, mínima: $1 - |1 - 0|$.

Es cierto que el grado de equidad podría obtenerse directamente comparando los niveles de cooperación mostrados por cada agente en la interacción, pero obtenerlos a partir del grado de éxito —es decir, a partir de los pagos obtenidos— permite una aplicación más general del criterio, válida para cualquier situación. Piénsese por ejemplo que en el juego del Ultimátum: si yo ofrezco 0.5 y él acepta (movimiento = 1), en la medida en que ambos obtenemos cantidades iguales, podemos decir que la jugada ha sido equitativa. Sin embargo, si intentásemos deducir este grado de equidad a partir de los movimientos, resultaría que no ha sido una jugada equitativa (puesto que yo he movido 0.5, y él ha movido 1).

Aparte de la tendencia a cooperar que pueda rastrearse en un jugador, la consideración de estos niveles de equidad permite identificar si estamos ante un individuo más o menos “justo”, es decir, si al margen de los rendimientos obtenidos en los pagos *no explota y/o no se deja explotar*⁶²².

Hemos visto también que en cada estrategia hay tres variables relativas a la sensibilidad de hacia la cooperación, la equidad y el parecido externo: **Ci sen**, **Ei sen** y **Si sen**. Muy importante: en todas las simulaciones de esta tesis he prescindido de **Si sen**, por lo cual no me ocuparé de ella. Para que en una simulación ninguna estrategia tenga en cuenta este aspecto hay que desactivar la casilla **Si sen**, situada en la esquina superior de la ventana **World**. El valor sumado

⁶²² En *Artificial Morality* (1992) Danielson inicia un diálogo con Gauthier, en torno a si es justo o no cooperar con quienes cooperan *siempre* (favoreciendo a los gorriones), o con quienes sabemos que cooperarán con nosotros pero explotarán a otros. La introducción de este índice de equidad como algo observable en las interacciones permite tener en cuenta tales consideraciones.

de estas variables siempre será 1. Puesto que **Si sen** está desactivada, los valores de **Ci sen** que las estrategias empleen será el indicado en **Edición de estrategias**; pero el valor de **Ei sen** será 1 – **Ci sen** (aunque en **Edición de estrategias** aparezcan otras cantidades en la casilla **Ei sen**). Supongamos el siguiente caso, el de una estrategia con los siguientes valores de sensibilidad:

Sensibilidad a $C_i = 0.5$

Sensibilidad a $E_i = 0.5$

Estas cifras indican que la estrategia del jugador J1 distribuye igualmente su atención entre el grado de cooperación y el grado de equidad mostrado por otro jugador (J2) en interacciones previas⁶²³.

Consideremos estos otros valores:

Sensibilidad a $C_i = 0.1$

Sensibilidad a $E_i = 0.9$

Aquí queda representada una estrategia que a la hora de incorporar el argumento (x) a su función de cooperación, atiende *casi* exclusivamente a la equidad que ha percibido en J2. Concede muy poca importancia al nivel de cooperación que haya demostrado J2.

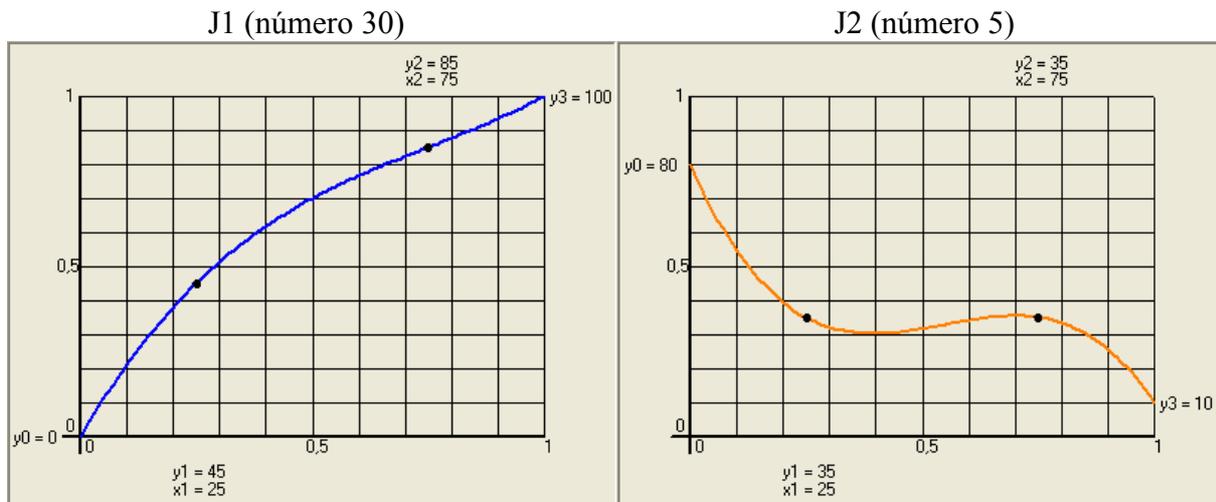
Por lo tanto, tenemos que el argumento x , que introducido en la función de cooperación o de coordinación dará como resultado un cierto grado de interés por la utilidad ajena, y , se calcula de la siguiente forma:

$$x = (C_i \cdot C_i \text{ sen}) + (E_i \cdot E_i \text{ sen})$$

Resumamos todo lo visto hasta aquí con un ejemplo concreto. El jugador 1 (número 30, en azul) juega contra el jugador 2 (número 5, naranja) en un DP con los pagos dispuestos en la Tabla 1 (*supra*). Como se trata de un juego en el que hay conflicto de intereses, J1 y J2 emplearán sus respectivas funciones de cooperación:

⁶²³ Recordemos una vez más que no se trata simplemente de lo que J2 haya mostrado, sino también de las jugadas de J2 que J1 ha “decidido” que le interesan.

Figura 29



Tomaremos un vecindario de von Neumann (4 vecinos) y una generación que consta de 10 iteraciones. Por lo tanto, cada individuo juega un total de 40 veces⁶²⁴. J1 observa *sólo* las jugadas habidas entre él y J2 (modo de búsqueda = 0), mientras que J2 observa lo que J1 *le ha hecho a él* en el pasado, *pero también lo que J1 ha hecho a terceros* (modo de búsqueda = 16). Entre estas interacciones que se tienen en cuenta, J1 mira sólo las tres últimas (profundidad = 2), mientras que J2 mira las seis últimas (profundidad = 10). Nos situamos en el último encuentro que ha habido entre ellos. El historial que J1 observa en J2, pues, es el dispuesto en la figura 30, con los valores *reales* de las interacciones a las que se ha “querido prestar atención” marcadas en amarillo. Por su parte, el historial que J2 observa en J1 es el que aparece en la figura 31, también marcados en amarillo los valores reales que la estrategia en cuestión ha incluido en su cálculo.

⁶²⁴ Véase el capítulo 3.2.1 para las definiciones de *vecindario*, *generación*, *partida* y *jugada*.

Figura 30

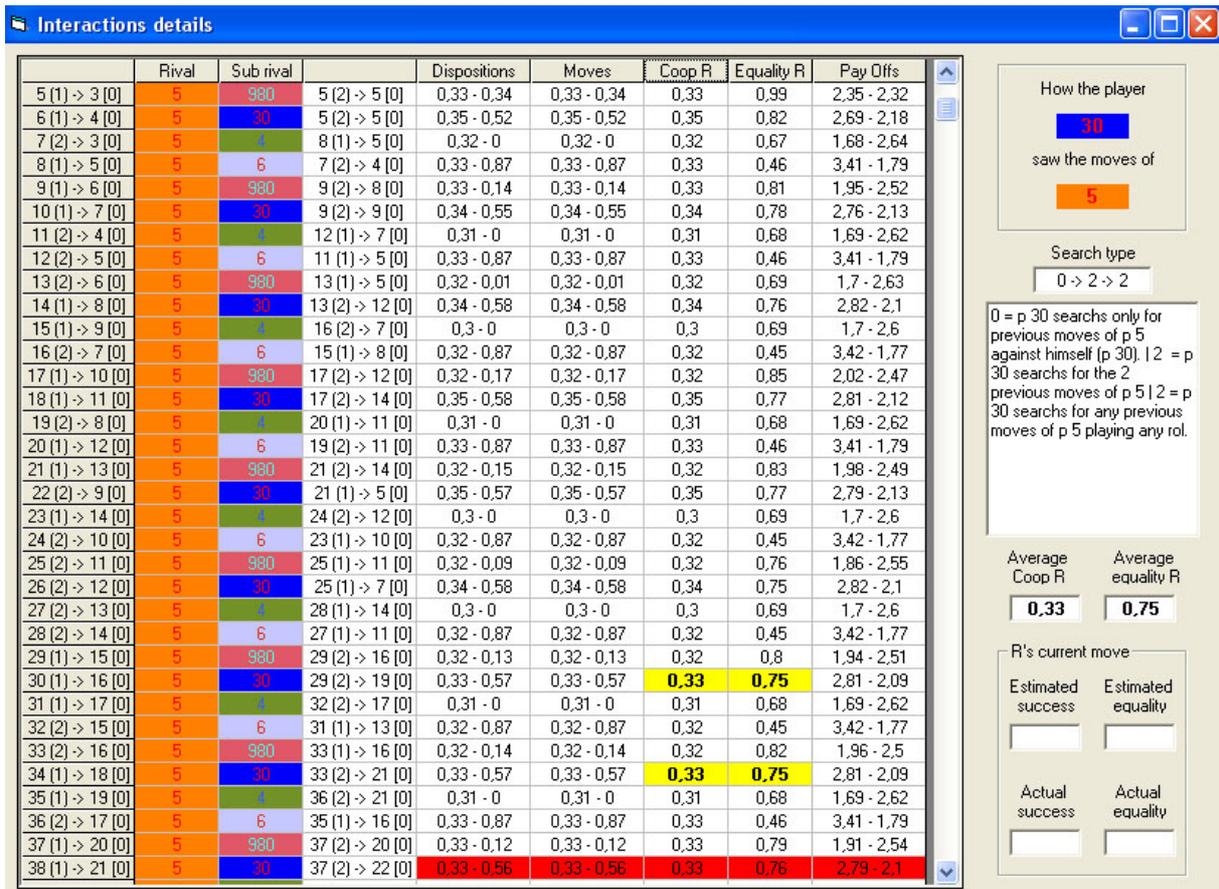


Figura 31

	Rival	Sub rival		Dispositions	Moves	Coop R	Equality R	Pay Offs
4 (2) -> 4 [0]	30	5	3 (1) -> 2 [0]	1 - 0,65	1 - 0,65	1	0,65	2,3 - 3,35
5 (2) -> 5 [0]	30	55	6 (1) -> 4 [0]	0,52 - 0,35	0,52 - 0,35	0,52	0,82	2,18 - 2,69
6 (2) -> 6 [0]	30	29	5 (1) -> 3 [0]	0,91 - 0,86	0,91 - 0,86	0,91	0,94	2,81 - 2,96
7 (2) -> 7 [0]	30	5	8 (1) -> 3 [0]	0,74 - 0,56	0,74 - 0,56	0,74	0,82	2,38 - 2,92
8 (2) -> 8 [0]	30	55	7 (1) -> 5 [0]	0,79 - 0,65	0,79 - 0,65	0,79	0,86	2,51 - 2,93
9 (2) -> 9 [0]	30	29	10 (1) -> 7 [0]	0,55 - 0,34	0,55 - 0,34	0,55	0,78	2,13 - 2,76
10 (1) -> 1 [0]	30	5	9 (2) -> 6 [0]	0,91 - 0,86	0,91 - 0,86	0,91	0,94	2,81 - 2,96
11 (2) -> 10 [0]	30	55	12 (1) -> 6 [0]	0,74 - 0,56	0,74 - 0,56	0,74	0,82	2,38 - 2,92
12 (2) -> 11 [0]	30	29	11 (1) -> 8 [0]	0,79 - 0,17	0,79 - 0,17	0,79	0,38	1,55 - 3,41
13 (2) -> 12 [0]	30	5	14 (1) -> 8 [0]	0,58 - 0,34	0,58 - 0,34	0,58	0,76	2,1 - 2,82
14 (1) -> 2 [0]	30	55	13 (2) -> 7 [0]	0,91 - 0,86	0,91 - 0,86	0,91	0,94	2,81 - 2,96
15 (2) -> 13 [0]	30	29	16 (1) -> 8 [0]	0,74 - 0,56	0,74 - 0,56	0,74	0,81	2,38 - 2,92
16 (1) -> 3 [0]	30	5	15 (2) -> 7 [0]	0,63 - 0	0,63 - 0	0,63	0,36	1,37 - 3,26
17 (2) -> 14 [0]	30	55	18 (1) -> 11 [0]	0,58 - 0,35	0,58 - 0,35	0,58	0,77	2,12 - 2,81
18 (2) -> 15 [0]	30	29	17 (1) -> 9 [0]	0,91 - 0,86	0,91 - 0,86	0,91	0,94	2,81 - 2,96
19 (2) -> 16 [0]	30	5	20 (1) -> 9 [0]	0,74 - 0,56	0,74 - 0,56	0,74	0,81	2,38 - 2,92
20 (1) -> 4 [0]	30	55	19 (2) -> 10 [0]	0,19 - 0	0,19 - 0	0,19	0,8	1,81 - 2,38
21 (1) -> 5 [0]	30	29	22 (2) -> 9 [0]	0,57 - 0,35	0,57 - 0,35	0,57	0,77	2,13 - 2,79
22 (2) -> 17 [0]	30	5	21 (1) -> 12 [0]	0,91 - 0,86	0,91 - 0,86	0,91	0,94	2,81 - 2,96
23 (2) -> 18 [0]	30	55	24 (1) -> 10 [0]	0,74 - 0,56	0,74 - 0,56	0,74	0,81	2,38 - 2,92
24 (1) -> 6 [0]	30	29	23 (2) -> 11 [0]	0,06 - 0	0,06 - 0	0,06	0,93	1,94 - 2,12
25 (1) -> 7 [0]	30	5	26 (2) -> 12 [0]	0,58 - 0,34	0,58 - 0,34	0,58	0,75	2,1 - 2,82
26 (1) -> 8 [0]	30	55	25 (2) -> 13 [0]	0,91 - 0,86	0,91 - 0,86	0,91	0,94	2,81 - 2,96
27 (1) -> 9 [0]	30	29	28 (2) -> 17 [0]	0,74 - 0,7	0,74 - 0,7	0,74	0,95	2,66 - 2,78
28 (1) -> 10 [0]	30	5	27 (2) -> 13 [0]	0,09 - 0	0,09 - 0	0,09	0,9	1,91 - 2,18
29 (2) -> 19 [0]	30	55	30 (1) -> 16 [0]	0,57 - 0,33	0,57 - 0,33	0,57	0,75	2,09 - 2,81
30 (1) -> 11 [0]	30	29	29 (2) -> 17 [0]	0,91 - 0,86	0,91 - 0,86	0,91	0,94	2,81 - 2,96
31 (2) -> 20 [0]	30	5	32 (1) -> 14 [0]	0,79 - 0,62	0,79 - 0,62	0,79	0,83	2,45 - 2,96
32 (1) -> 12 [0]	30	55	31 (2) -> 15 [0]	0,1 - 0	0,1 - 0	0,1	0,89	1,9 - 2,2
33 (2) -> 21 [0]	30	29	34 (1) -> 18 [0]	0,57 - 0,33	0,57 - 0,33	0,57	0,75	2,09 - 2,81
34 (1) -> 13 [0]	30	5	33 (2) -> 20 [0]	0,91 - 0,86	0,91 - 0,86	0,91	0,94	2,81 - 2,96
35 (1) -> 14 [0]	30	55	36 (2) -> 21 [0]	0,8 - 0,7	0,8 - 0,7	0,8	0,9	2,6 - 2,9
36 (1) -> 15 [0]	30	29	35 (2) -> 19 [0]	0,1 - 0	0,1 - 0	0,1	0,89	1,9 - 2,2
37 (2) -> 22 [0]	30	5	38 (1) -> 21 [0]	0,56 - 0,33	0,56 - 0,33	0,56	0,76	2,1 - 2,79

La fila cuyos resultados están marcados en rojo indica la partida *actual*, esto es, aquella cuyos movimientos son el resultado de los valores registrados en amarillo y pasados posteriormente por la criba “subjetiva” de las diferentes sensibilidades, como analizaremos a continuación.

Los índices *promedio* de cooperación y de equidad, calculados sobre los resultados de las jugadas observadas (en negrita), aparecen en las dos casillas situadas a la derecha: **Average Coop R** y **Average Equality R**. Llamaremos $Ci(J2)$ al índice de cooperación de un jugador $J2$ tal como lo *observa* otro, $J1$. Por tanto, atendiendo a la tabla de la figura 30: $Ci(5) = 0.33$, $Ei(5) = 0.75$. Y según podemos ver en la figura 31: $Ci(30) = 0.558$ y $Ei(30) = 0.874$.

En nuestro ejemplo, $J1$ distribuye sus sensibilidades del siguiente modo:

$$Ci \text{ sen } (30) = 0.95$$

$$Ei \text{ sen } (30) = 0.05$$

Es decir, lo que con diferencia más le interesa a $J1$ (jugador 30), aunque no exclusivamente, es el grado de cooperación de $J2$ (jugador 5) en las dos últimas interacciones entre $J1$ y $J2$.

Y los pesos relativos que J2 atribuye a los dos índices extraídos tras haber observado a J1 son éstos:

$$C_i \text{ sen } (5) = 0.2$$

$$E_i \text{ sen } (5) = 0.8$$

Dicho de otro modo, J2 presta atención fundamentalmente a la equidad, aunque no se centra tan exclusivamente en este dato como lo hace J1 respecto del nivel de cooperación.

De todo esto resulta, por fin, el argumento x que cada jugador introducirá en la función de cooperación de sus estrategias, el cual es para J1 y J2, respectivamente:

$$x(30) = (0.95 \cdot 0.33) + (0.05 \cdot 0.75) = 0.351$$

$$x(5) = (0.2 \cdot 0.558) + (0.8 \cdot 0.874) = 0.811$$

He escrito en cursiva los valores promedio observados *en el otro jugador*, y en negrita la sensibilidad relativa *de cada jugador* hacia esos valores observados. Podríamos describir el resultado de esta interacción diciendo que J1 ha observado en J2 un grado de cooperación más bien bajo (= 0.33), a lo cual ha dado muchísima importancia (= 0.95) y un nivel de equidad alto (= 0.75) al que prácticamente no ha prestado atención (= 0.05). Por su parte, J2 ha observado en J1 un grado de cooperación mediano (= 0.558), cosa que no tiene demasiada importancia para J2 (= 0.2) y un nivel de equidad muy alto (= 0.874), que J2 sí considera significativo (= 0.8).

Si volvemos ahora a la figura 29, observamos que en efecto, para J1 resulta $f(0.351) = 0.56$, mientras que para J2 $f(0.811) = 0.33$. Estos niveles de cooperación son los que aparecen en la columna **Dispositions**, en la línea marcada en rojo, que corresponde a la jugada actual.

Al margen de este análisis particular que nos ha servido de ejemplo, se pueden sacar conclusiones más generales atendiendo a los gráficos de las funciones y a los demás parámetros que definen estas estrategias.

La estrategia de J1 (azul) es muy sensible, lo cual se aprecia en su pendiente pronunciada: ofrece respuestas muy diversas, proporcionales a los valores que pueda tomar x . En realidad esta estrategia es una variante de Toma y Daca. Se diferencia de ésta en que observa las dos últimas acciones del otro jugador (no sólo la última) y es además menos rigurosa que Toma y Daca: la pendiente creciente de izquierda a derecha no es una línea perfectamente recta, sino que y es siempre algo mayor que x , lo cual demuestra su tolerancia algo mayor.

La estrategia de J2 (naranja) es menos sensible. Sólo ofrece respuestas diferenciadas para los valores de $x < 0.25$ y $x > 75$. Entre $x > 0.25$ y $x < 0.75$ vemos que su respuesta es bastante uniforme⁶²⁵. Además, a diferencia de J1, la sensibilidad que muestra es inversamente proporcional a x , esto es, descendente de izquierda a derecha. Si a esto agregamos que los valores de x los obtiene atendiendo casi exclusivamente al nivel de equidad que observa en el otro jugador, esta estrategia tendría el extraño comportamiento de cooperar más con aquellos jugadores a quienes considera poco equitativos, y cooperar menos con los que son más equitativos. El análisis de este algoritmo sirve para ilustrar el abanico de estrategias que puede generar *Bichos*, ajenas a nuestras intuiciones acerca de lo que sería un comportamiento racional y/o moral.

Quedaría como ejercicio para el lector diseñar un algoritmo que responda a la estrategia “Fairman”, que en el juego del Ultimátum hace propuestas equitativas y rechaza ofertas demasiado generosas o demasiado rancas. En el capítulo 4.5 hay una versión de la misma, construida para las simulaciones de Skyrms. Sin embargo, en *Bichos* se le podrían modificar ciertos rasgos, como por ejemplo que no atienda simplemente a la oferta que le acaban de hacer, o que, por su parte, haga diferentes propuestas a otros jugadores, según el tipo de conducta que hayan mostrado en el pasado⁶²⁶.

⁶²⁵ Ya he indicado más arriba lo que ocurriría con una estrategia cuya función de cooperación fuese totalmente “plana”. De ser así, no importa cuáles sean sus valores de **Ci sen** y **Ei sen**, tendríamos una estrategia completamente insensible a cualquier dato observable, es decir, que escoge sistemáticamente siempre la misma opción, independientemente de las circunstancias.

⁶²⁶ En el juego del Ultimátum, quien tiene que aceptar “ha visto” ya el movimiento del otro, esto es, que los movimientos son sucesivos, y no simultáneos. Lo que estoy sugiriendo aquí es que el jugador que hace la propuesta (J1) no muestre un comportamiento simplemente uniforme —aunque sea el comportamiento uniformemente justo de Fairman, que ofrece siempre la mitad— sino que pueda “castigar”, ofreciendo poco a aquellos jugadores (J2) que hayan tenido una conducta equitativa en interacciones previas, ya sea con J1 o con otros jugadores (J3). Obviamente este acto de castigo puede reportar grandes beneficios a J1, si J2 está dispuesto a aceptar ofertas bajas; lo cual, a su vez, reduciría el índice de equidad de J1. Todo esto introduce la difícil cuestión de la “transitividad” de la justicia y los grados de tolerancia, discutida por Danielson (1992, p. 115) en su comentario a Gauthier. El verdadero problema es otro: poder discriminar conductas de segundo orden. Supongamos que vemos interactuar a J1 y J2. J1 ofrece 0.1, y J2 lo acepta. En principio nos parece deplorable por ambas partes, y ésa es la valoración que incluimos en nuestra “base de datos” (hasta aquí, lo que se puede hacer en el estado actual del programa). ¿Pero qué pensaríamos si hemos visto que, a su vez, antes de esta interacción, J1 ha tenido un comportamiento siempre correcto (ofrecer 0.5 y aceptar sólo ofertas equitativas), mientras que J2 se ha mostrado mezquino y conformista (ofrecer 0.1 y aceptar cualquier cosa)? Quizá toleraríamos más la tacañería de J1 hacia J2, interpretándolo precisamente como una forma de castigo. Pero para poder contar con este matiz habría que complicar enormemente el programa (cosa teóricamente posible) para que los agentes no valoren sólo una interacción puntal, sino la interacción en relación con otras previas (historial). A partir de aquí sí se puede ver mejor que esta dificultad está vinculada al problema de la transitividad que acabo de mencionar: incluso atendiendo al historial de J2 —a fin de saber si el castigo de J1 estaba “justificado”—, habría que ver si el comportamiento rancano de J2 hacia sus rivales previos (J3, etc.) no estaba motivado también por criterios justos, para lo cual habría que examinar el mismo aspecto en relación con los rivales de J3 (J4, etc.) y así *ad infinitum*.

Aunque este modo de considerar las estrategias pueda parecer un poco complicado, creo que ofrece una gran flexibilidad a la hora de considerar diferentes comportamientos posibles, por disparatados que puedan resultar para nosotros algunos de ellos. La propia dinámica evolutiva del juego acaba normalmente seleccionando estrategias cuyo comportamiento *nos* resulta “razonable”. Esta posibilidad de generar un número prácticamente infinito de estrategias, muchas de ellas en apariencia absurdas, tiene la ventaja de evitar todo lo posible que el usuario o el programador inclinen la balanza hacia el lado de la racionalidad o la moralidad. Estas tendencias a la racionalidad tendrán que ser el resultado, y no el punto de partida, de un proceso de selección natural⁶²⁷.

6. Mutaciones

Al cabo de cada generación, y una vez que un agente ha aprendido o heredado una (nueva) estrategia, existe cierta probabilidad de que se produzca un cambio azaroso en esta estrategia recién adquirida. La probabilidad de que una estrategia sufra una mutación se establece en la ventana **Pay offs** → **Frecuencia de mutaciones**. El valor predeterminado es 0.005: al cabo de una generación, en una población de 1000 individuos, cinco de ellos, por término medio, habrán sufrido una mutación. Además, para que las mutaciones tengan efecto, tiene que estar activada **Options** → **Mutations On**. En este mismo menú se encuentra también la opción **Complete mutation (no gradual)**. Si esta opción se activa, la mutación no afecta sólo a una parte del “genoma”, sino que *todos* los parámetros que definen la estrategia se verán modificados. Las opciones predeterminadas son **Mutaciones On** activada y **Complete mutation** desactivada, es decir, que las mutaciones serán pequeñas variaciones. Para ver qué jugadores tenían estrategias que han sufrido mutaciones, y cómo han cambiado, hay que marcar la opción **View** → **Mutations** (por defecto desactivada). Cuando esta opción esté seleccionada y se ponga en marcha la simulación, ésta se detendrá al cabo cada generación y aparecerá una ventana como ésta.

⁶²⁷ “Natural”, dentro de este mundo *artificial*, en el sentido de que no hay teleología alguna.

Figura 32

Player	38 (0)	71 (0)	235 (0)	574 (1)	596 (0)	836 (1)	948 (0)
RGB bug	139	196	120	163	70	43	93
	173	45	194	51	62	209	3
	239	105	217	128	232	101	122
RGB user	231	36	49	127	194	252	77
	79	143	207	144	58	184	168
	70	90	22	197	110	66	71
Search Type	8 -> 13 -> 1	0 -> 14 -> 0	16 -> 7 -> 2	0 -> 8 -> 1	0 -> 4 -> 2	8 -> 10 -> 2	8 -> 6 -> 0
y0	0,39	0,68	0,02	0,86	0,71	0,84	0,31
x1	0,38	0,37	0,13	0,46	0,14	0,06	0,76
y1	0,41	0,51	0,19	0,49	0,29	0,5	0,01
x2	0,78	0,95	0,9	0,67	0,61	0,61	0,88
y2	0,95	0,55	0,29	0,14	0,03	0,47	0,3
y3	0,93	0,9	0,61	0,98	0,49	0,63	0,66
Ci sen (val)	0,88 (1)	0,65 (1)	0,45 (1)	0,64 (1)	0,46 (1)	0,09 (1)	0,23 (1)
Ei sen (val)	0,03 (1)	0,23 (1)	0,28 (1)	0,24 (1)	0,17 (1)	0,3 (1)	0,45 (1)
Si sen (val)	0,09 (1)	0,12 (1)	0,27 (1)	0,12 (1)	0,37 (1)	0,61 (1)	0,32 (1)
Uncer Ci	0,27	0,94	0,75	0,47	0,34	0,58	0,07
Uncer Ei	0,82	0,57	0,54	0,22	0,45	0,49	0,01
Copy	0	16384	0	0	0	0	0
Irregular	1	1	1	0	0	0	0
Mirar vecinos	6208038	3286634	5802514	12857224	10545128	9610766	4725297
Trigger Min-Max	0,05 - 0,3	0,2 - 0,17	0,68 - 0,58	0,32 - 0,11	0,64 - 0,97	0,93 - 0,03	0,89 - 0,26
Trigger Res	0,09	0,37	0,92	0,26	0,06	0,61	0,68
Whom-When	1 -> 1	1 -> 1	0 -> 0	1 -> 0	0 -> 0	1 -> 2	1 -> 1

Cada columna corresponde a un jugador cuya *nueva* estrategia —la que acababa de aprender o heredar— ha sufrido una mutación. En la cabecera de cada columna, un 0 indica que la mutación ha ocurrido en una variable de la función de cooperación, y un 1 que la mutación ha afectado a la función de coordinación. Cada fila corresponde a cada uno de los parámetros que definen una estrategia. En el ejemplo de la tabla las mutaciones son graduales, por lo cual sólo un parámetro ha sido modificado cada vez. En negrita está la variable que ha sufrido el cambio. Las cifras en letra normal (no cursiva) representan los valores inmediatamente previos a la mutación, esto es, lo que habría sido esa estrategia de no haber ocurrido la modificación. Haciendo click en cualquier columna, todos sus valores aparecerán en cursiva, mostrando los valores *después* de la mutación, es decir, el resultado de ésta.⁶²⁸

⁶²⁸ Vemos que en casi todas las columnas las primeras seis filas tienen un color diferente de las filas restantes. Esto indica qué cambios ha sufrido un jugador en su aspecto externo. Como ya he señalado, el papel que juegan las etiquetas externas y la emisión de señales queda fuera de esta investigación, por lo cual no me ocuparé de este aspecto.

7. Matrices de pagos y juegos

Terminaré este repaso a las principales funciones de *Bichos* con unas indicaciones sobre las diferentes situaciones que pueden definirse. Los pagos que definen un juego se pueden modificar en la ventana **Pay offs**, a la cual se puede acceder tanto desde la ventana de inicio (**Main**) como desde la que contiene el mapa (**World**). Una vez en **Pay offs**, los pagos se pueden modificar con las barras de desplazamiento o escribiendo directamente los valores desde el teclado en las casillas correspondientes (se puede pasar rápidamente de una casilla a otra con la tecla **Tab**). La matriz de pagos puede reconocerse fácilmente en la parte superior izquierda de esta ventana. También pueden seleccionarse algunos juegos predeterminados, desplegando la lista que se encuentra inmediatamente debajo de la matriz de pagos.

Lo más destacable a este respecto es que los pagos no tienen por qué ser simétricos. En caso de que los pagos no sean simétricos, durante el desarrollo del juego se determina aleatoriamente (con probabilidad 1/2) a qué individuo le corresponderá, en una interacción dada, ser el jugador con los pagos de las filas, y quién será el jugador de las columnas. Según vimos en el epígrafe 5, durante el desarrollo del juego se puede acceder a la ventana de **Detalles** (figuras 30 y 31, *supra*). En la primera y en la cuarta columna aparecen entre paréntesis las cifras 1 y 2. El (1) significa que en esa jugada concreta al agente le ha tocado ser el jugador que elige filas, mientras que (2) es el jugador que elige columnas. Cuando las jugadas no son simultáneas, sino sucesivas —como en el juego del Ultimátum— el jugador 1 es siempre el que mueve primero⁶²⁹.

8. Sincronización y sucesión de las jugadas

Cuando el conjunto de interacciones (*partida*) entre un cierto par de agentes se lleva a cabo más de una vez (*jugadas*) en una misma generación —es decir, si se trata de un juego iterado—, todas sus jugadas *no* son inmediatamente sucesivas, sino que la iteración (la jugada $t + 1$ de la partida) no se da hasta que todos los agentes han realizado un número t de jugadas contra sus vecinos. A su vez, las jugadas con cada uno de los vecinos (sea o no espacial la distribución) tampoco son simultáneas, sino que se van teniendo lugar una a una. Obviamente, esto da una leve ventaja a determinados jugadores que, por el “turno” en que les ha tocado jugar, disponen de una pequeña información adicional sobre la conducta de sus vecinos. Para entender mejor esta idea, y a fin de comprender en general cómo funciona el programa, vamos a considerar un pequeño mundo de 3 x 3 celdas, en el que cada jugador juega con cuatro vecinos (norte, sur, este y oeste)⁶³⁰.

⁶²⁹ Será interesante para futuras versiones flexibilizar más este punto, permitiendo juegos en los que se den cuatro combinaciones posibles (sólo relevantes si los pagos son asimétricos, claro está): que se determine al azar si alguien juega filas en primer o en segundo lugar, o si juega columnas en primer o en segundo lugar.

⁶³⁰ Se trata del vecindario de von Neumann.

Figura 33

1	2	3
4	5	6
7	8	9

El orden estricto en que se suceden las jugadas, tal como está programado el autómata celular, es el siguiente:

Tabla 38

Turno	Jugador x contra su vecino...	Jugador $x \rightarrow n^\circ$ jugadas previas. Su vecino $\rightarrow n^\circ$ jugadas previas.	Comentario
1	1 contra su vecino del norte (7)	$1 \rightarrow 0$ $7 \rightarrow 0$	Ninguno de los dos ha hecho nada previamente.
2	2 contra su vecino del norte (8)	$2 \rightarrow 0$ $8 \rightarrow 0$	<i>Idem.</i>
3	3 contra su vecino del norte (9)	$3 \rightarrow 0$ $9 \rightarrow 0$	<i>Idem.</i>
4	4 contra su vecino del norte (1)	$4 \rightarrow 0$ $1 \rightarrow 1$	Aquí, pues, el jugador 4 tiene la ventaja de que ya ha visto <i>una</i> jugada del jugador 1 (quien ya había jugado contra el 7).
5	5 contra su vecino del norte (2)	$5 \rightarrow 0$ $2 \rightarrow 1$	<i>Idem.</i> Ventaja del jugador 5 sobre el jugador 2.
6	6 contra su vecino del norte (3)	$6 \rightarrow 0$ $3 \rightarrow 1$	<i>Idem.</i> Ventaja del jugador 6 sobre el jugador 3.
7	7 contra su vecino del norte (4)	$7 \rightarrow 1$ $4 \rightarrow 1$	Ahora ya no hay ventaja del jugador 7 sobre su vecino de la fila superior (4), pues 7 también ya había hecho una jugada contra el jugador 1 (turno 1).
8	8 contra su vecino del norte (5)	$8 \rightarrow 1$ $5 \rightarrow 1$	<i>Idem</i>
9	9 contra su vecino del norte (6)	$9 \rightarrow 1$ $6 \rightarrow 1$	<i>Idem</i>

A pesar de las pequeñas desincronizaciones, al cabo de este primer “repasso por el mapa” o recorrido, todos los jugadores han efectuado el mismo número de jugadas (2), con lo cual los desfases no se acumulan. Es decir, se vuelven a producir leves desequilibrios, tal como vemos en el siguiente recorrido, pero no se añaden a los anteriores. Por otra parte, los jugadores perjudicados o beneficiados no siempre son los mismos que en el primer recorrido.

Tabla 39

Turno	Jugador x contra su vecino...	Jugador x → n° jugadas previas. Su vecino → n° jugadas previas.	Comentario
10	1 contra su vecino del este (2)	1 → 2 2 → 2	
11	2 contra su vecino del este (3)	2 → 3 3 → 2	Ventaja del 3, que ya ha visto una jugada más del 2.
12	3 contra su vecino del este (1)	3 → 3 1 → 3	
13	4 contra su vecino del este (5)	4 → 2 5 → 2	
14	5 contra su vecino del este (6)	5 → 3 6 → 2	Ventaja del 6, que ya ha visto una jugada más del 5.
15	6 contra su vecino del este (4)	6 → 3 4 → 3	
16	7 contra su vecino del este (8)	7 → 2 8 → 2	
17	8 contra su vecino del este (9)	8 → 3 9 → 2	Ventaja del 9, que ya ha visto una jugada más del 8.
18	9 contra su vecino del este (7)	9 → 3 7 → 3	

Cada jugador ha jugado con sus cuatro vecinos. Evidentemente si el jugador 1, por ejemplo, juega contra su vecino del norte (jugador 7) éste tendrá en el jugador 1 a su vecino del sur. Y lo mismo vale para las relaciones “este – oeste”.

Por último, es preciso indicar que cuando los emparejamientos de los jugadores son aleatorios, al permanecer sin embargo fijos *durante el transcurso* de una generación (cambian en la generación siguiente), la introducción del azar no impide que los “recorridos” como el que acabamos de analizar produzcan pequeñas desincronizaciones. El único caso en el que éstas no tienen absolutamente ninguna importancia son aquellas situaciones en las que los agentes no son sensibles, es decir, que realizan sus movimientos con independencia de lo que hayan observado que han *hecho* los demás⁶³¹.

⁶³¹ Tampoco tendrá influencia el orden en que se suceden las jugadas si los agentes son sensibles sólo al aspecto externo de sus vecinos, pues obviamente es éste un dato que se obtiene en el “presente”, en el mismo momento de la interacción.

9. Modificación de la distribución inicial de estrategias

Si se desea asignar a algún jugador una determinada estrategia, han de seguirse dos pasos. En primer lugar, elegir o editar la estrategia (véase epígrafe 2) que queremos “situar” en el mapa. Una vez seleccionada dicha estrategia (aparecerá en el recuadro **Selected strategy**) si queremos implementarla en un solo jugador, hacemos doble click en la celda correspondiente. Si la vamos a aplicar a varios jugadores, arrastramos el ratón en la región del mapa que deseamos contenga la estrategia en cuestión.

Para repartir determinadas estrategias al azar, pero según proporciones establecidas por el usuario, hay que ir a la ventana **Editor de estrategias → Distribute %**.

Figura 34



Los pequeños recuadros numerados del 1 al 20 se pueden marcar para indicar cuáles serán las estrategias que se repartirán en el mapa. Si después hacemos click sobre **Equal distribution**, las estrategias seleccionadas se repartirán en proporciones iguales. Es posible que en algunos casos la suma total no sea exactamente igual a 100%, en cuyo caso deberemos ajustar manualmente algunos valores, desplazando las correspondientes barras. Éstas sirven en general para distribuir el reparto inicial según las proporciones que deseemos; para ello también se pueden introducir los valores en las casillas correspondientes, directamente con el teclado. La mostrada en la figura 34 es la distribución por defecto al iniciar *Bichos*. Es aconsejable deselegionar la casilla correspondiente a **Cuadro en blanco**, cuya función no tiene importancia en estas simulaciones. Una vez seleccionada una distribución inicial, podemos implementarla en el mapa haciendo click sobre **Fill world**. Cada vez que deseemos iniciar una nueva simulación con la distribución

especificada, no necesitamos volver a esta pantalla: basta con hacer click *derecho* sobre el botón **New** en la ventana **World** (la que contiene el mapa). Si hacemos click izquierdo sobre el botón **New** comenzará una nueva simulación, pero la distribución será totalmente aleatoria, es decir, no estará limitada ni a las estrategias ni a las proporciones definidas en **Distribute %**.

Apéndice B

Tablas de resultados

Dilema del prisionero

Vecindario	Regla	Tipo de reproducción	Iteraciones	Cooperación total
4	replicator	asexual	1	0,009
4	replicator	asexual	5	0,414
4	replicator	asexual	10	0,6
4	replicator	sexual	1	0,026
4	replicator	sexual	5	0,46
4	replicator	sexual	10	0,638
4	MaxiMax	asexual	1	0,261
4	MaxiMax	asexual	5	0,538
4	MaxiMax	asexual	10	0,64
4	MaxiMax	sexual	1	0,004
4	MaxiMax	sexual	5	0,63
4	MaxiMax	sexual	10	0,811
4	Utilidad esperada	asexual	1	0,303
4	Utilidad esperada	asexual	5	0,593
4	Utilidad esperada	asexual	10	0,612
4	Utilidad esperada	sexual	1	0,101
4	Utilidad esperada	sexual	5	0,424
4	Utilidad esperada	sexual	10	0,786
4 azar	replicator	asexual	1	0,01
4 azar	replicator	asexual	5	0,117
4 azar	replicator	asexual	10	0,243
4 azar	replicator	sexual	1	0,009
4 azar	replicator	sexual	5	0,01
4 azar	replicator	sexual	10	0,008
4 azar	MaxiMax	asexual	1	0
4 azar	MaxiMax	asexual	5	0
4 azar	MaxiMax	asexual	10	0,001
4 azar	MaxiMax	sexual	1	0,004
4 azar	MaxiMax	sexual	5	0,002
4 azar	MaxiMax	sexual	10	0,002
4 azar	Utilidad esperada	asexual	1	0
4 azar	Utilidad esperada	asexual	5	0
4 azar	Utilidad esperada	asexual	10	0,022
4 azar	Utilidad esperada	sexual	1	0,002
4 azar	Utilidad esperada	sexual	5	0,003

4 azar	Utilidad esperada	sexual	10	0,002
8	replicator	asexual	1	0,006
8	replicator	asexual	5	0,405
8	replicator	asexual	10	0,446
8	replicator	sexual	1	0,016
8	replicator	sexual	5	0,028
8	replicator	sexual	10	0,641
8	MaxiMax	asexual	1	0,254
8	MaxiMax	asexual	5	0,406
8	MaxiMax	asexual	10	0,721
8	MaxiMax	sexual	1	0,153
8	MaxiMax	sexual	5	0,669
8	MaxiMax	sexual	10	0,565
8	Utilidad esperada	asexual	1	0,22
8	Utilidad esperada	asexual	5	0,384
8	Utilidad esperada	asexual	10	0,68
8	Utilidad esperada	sexual	1	0,076
8	Utilidad esperada	sexual	5	0,565
8	Utilidad esperada	sexual	10	0,56
8 azar	replicator	asexual	1	0,004
8 azar	replicator	asexual	5	0,004
8 azar	replicator	asexual	10	0,004
8 azar	replicator	sexual	1	0,01
8 azar	replicator	sexual	5	0,017
8 azar	replicator	sexual	10	0,02
8 azar	MaxiMax	asexual	1	0,001
8 azar	MaxiMax	asexual	5	0,002
8 azar	MaxiMax	asexual	10	0
8 azar	MaxiMax	sexual	1	0,002
8 azar	MaxiMax	sexual	5	0,003
8 azar	MaxiMax	sexual	10	0,002
8 azar	Utilidad esperada	asexual	1	0,001
8 azar	Utilidad esperada	asexual	5	0,001
8 azar	Utilidad esperada	asexual	10	0,177
8 azar	Utilidad esperada	sexual	1	0,003
8 azar	Utilidad esperada	sexual	5	0,002
8 azar	Utilidad esperada	sexual	10	0,002
4 + 4 azar	replicator	asexual	1	0,007
4 + 4 azar	replicator	asexual	5	0,005
4 + 4 azar	replicator	asexual	10	0,005
4 + 4 azar	replicator	sexual	1	0,018
4 + 4 azar	replicator	sexual	5	0,019

4 + 4 azar	replicator	sexual	10	0,012
4 + 4 azar	MaxiMax	asexual	1	0,001
4 + 4 azar	MaxiMax	asexual	5	0,257
4 + 4 azar	MaxiMax	asexual	10	0,639
4 + 4 azar	MaxiMax	sexual	1	0,045
4 + 4 azar	MaxiMax	sexual	5	0,172
4 + 4 azar	MaxiMax	sexual	10	0,349
4 + 4 azar	Utilidad esperada	asexual	1	0,001
4 + 4 azar	Utilidad esperada	asexual	5	0,277
4 + 4 azar	Utilidad esperada	asexual	10	0,145
4 + 4 azar	Utilidad esperada	sexual	1	0,037
4 + 4 azar	Utilidad esperada	sexual	5	0,009
4 + 4 azar	Utilidad esperada	sexual	10	0,047
12	replicator	asexual	1	0,004
12	replicator	asexual	5	0,005
12	replicator	asexual	10	0,269
12	replicator	sexual	1	<u>0,013</u>
12	replicator	sexual	5	0,01
12	replicator	sexual	10	0,32
12	MaxiMax	asexual	1	0,137
12	MaxiMax	asexual	5	0,583
12	MaxiMax	asexual	10	0,453
12	MaxiMax	sexual	1	0,096
12	MaxiMax	sexual	5	0,698
12	MaxiMax	sexual	10	0,7
12	Utilidad esperada	asexual	1	<u>0,013</u>
12	Utilidad esperada	asexual	5	0,256
12	Utilidad esperada	asexual	10	0,278
12	Utilidad esperada	sexual	1	0,102
12	Utilidad esperada	sexual	5	0,498
12	Utilidad esperada	sexual	10	0,574
12 azar	replicator	asexual	1	0,005
12 azar	replicator	asexual	5	0,003
12 azar	replicator	asexual	10	0,004
12 azar	replicator	sexual	1	0,027
12 azar	replicator	sexual	5	0,009
12 azar	replicator	sexual	10	0,01
12 azar	MaxiMax	asexual	1	0
12 azar	MaxiMax	asexual	5	0,001
12 azar	MaxiMax	asexual	10	0
12 azar	MaxiMax	sexual	1	0,002
12 azar	MaxiMax	sexual	5	0,002

12 azar	MaxiMax	sexual	10	0
12 azar	Utilidad esperada	asexual	1	0,001
12 azar	Utilidad esperada	asexual	5	0,004
12 azar	Utilidad esperada	asexual	10	0
12 azar	Utilidad esperada	sexual	1	0,002
12 azar	Utilidad esperada	sexual	5	0,003
12 azar	Utilidad esperada	sexual	10	0,003
16	replicator	asexual	1	0,004
16	replicator	asexual	5	0,273
16	replicator	asexual	10	0,62
16	replicator	sexual	1	0,012
16	replicator	sexual	5	0,02
16	replicator	sexual	10	0,013
16	MaxiMax	asexual	1	0,745
16	MaxiMax	asexual	5	0,641
16	MaxiMax	asexual	10	0,752
16	MaxiMax	sexual	1	0,088
16	MaxiMax	sexual	5	0,059
16	MaxiMax	sexual	10	0,547
16	Utilidad esperada	asexual	1	<u>0,446</u>
16	Utilidad esperada	asexual	5	0,077
16	Utilidad esperada	asexual	10	0,394
16	Utilidad esperada	sexual	1	0,096
16	Utilidad esperada	sexual	5	0,04
16	Utilidad esperada	sexual	10	0,589
16 azar	replicator	asexual	1	0,003
16 azar	replicator	asexual	5	0,004
16 azar	replicator	asexual	10	0,006
16 azar	replicator	sexual	1	0,013
16 azar	replicator	sexual	5	0,017
16 azar	replicator	sexual	10	0,008
16 azar	MaxiMax	asexual	1	0,001
16 azar	MaxiMax	asexual	5	0,031
16 azar	MaxiMax	asexual	10	0
16 azar	MaxiMax	sexual	1	0,003
16 azar	MaxiMax	sexual	5	0,002
16 azar	MaxiMax	sexual	10	0,001
16 azar	Utilidad esperada	asexual	1	0,002
16 azar	Utilidad esperada	asexual	5	0
16 azar	Utilidad esperada	asexual	10	0
16 azar	Utilidad esperada	sexual	1	0,002
16 azar	Utilidad esperada	sexual	5	0,001

16 azar	Utilidad esperada	sexual	10	0,003
12 + 12 azar	replicator	asexual	1	0,003
12 + 12 azar	replicator	asexual	5	0,002
12 + 12 azar	replicator	asexual	10	0,005
12 + 12 azar	replicator	sexual	1	0,012
12 + 12 azar	replicator	sexual	5	0,032
12 + 12 azar	replicator	sexual	10	0,016
12 + 12 azar	MaxiMax	asexual	1	0
12 + 12 azar	MaxiMax	asexual	5	0
12 + 12 azar	MaxiMax	asexual	10	0,027
12 + 12 azar	MaxiMax	sexual	1	0,067
12 + 12 azar	MaxiMax	sexual	5	0,01
12 + 12 azar	MaxiMax	sexual	10	0,027
12 + 12 azar	Utilidad esperada	asexual	1	0,001
12 + 12 azar	Utilidad esperada	asexual	5	0,035
12 + 12 azar	Utilidad esperada	asexual	10	0,052
12 + 12 azar	Utilidad esperada	sexual	1	0,016
12 + 12 azar	Utilidad esperada	sexual	5	0,016
12 + 12 azar	Utilidad esperada	sexual	10	0,317
24	replicator	asexual	1	0,003
24	replicator	asexual	5	0,007
24	replicator	asexual	10	0,005
24	replicator	sexual	1	0,052
24	replicator	sexual	5	0,012
24	replicator	sexual	10	0,001
24	MaxiMax	asexual	1	0,16
24	MaxiMax	asexual	5	0,446
24	MaxiMax	asexual	10	0,634
24	MaxiMax	sexual	1	0,069
24	MaxiMax	sexual	5	0,626
24	MaxiMax	sexual	10	0,59
24	Utilidad esperada	asexual	1	0,121
24	Utilidad esperada	asexual	5	0,36
24	Utilidad esperada	asexual	10	0,685
24	Utilidad esperada	sexual	1	0,101
24	Utilidad esperada	sexual	5	0,345
24	Utilidad esperada	sexual	10	0,5

24 azar	replicator	asexual	1	0,005
24 azar	replicator	asexual	5	0,003
24 azar	replicator	asexual	10	0,004
24 azar	replicator	sexual	1	0,013
24 azar	replicator	sexual	5	0,01
24 azar	replicator	sexual	10	0,01
24 azar	MaxiMax	asexual	1	0
24 azar	MaxiMax	asexual	5	0
24 azar	MaxiMax	asexual	10	0
24 azar	MaxiMax	sexual	1	0,002
24 azar	MaxiMax	sexual	5	0,003
24 azar	MaxiMax	sexual	10	0,002
24 azar	Utilidad esperada	asexual	1	0
24 azar	Utilidad esperada	asexual	5	0
24 azar	Utilidad esperada	asexual	10	0
24 azar	Utilidad esperada	sexual	1	0,002
24 azar	Utilidad esperada	sexual	5	0
24 azar	Utilidad esperada	Sexual	10	0,002

Caza del venado

Vecindario	Regla	Iteraciones	Pago LV = 1	Pago LV = 2
4	replicator	1	0,649 / 0,823 / 0,882	0,006
4	replicator	5	0,84 / 0,794 / 0,828	0,743
4	MaxiMax	1	0,994 / 0,997 / 0,998	0,857
4	MaxiMax	5	0,963 / 0,986 / 0,934	0,846
4	Utilidad esperada	1	0,992 / 0,998 / 0,997	0,952
4	Utilidad esperada	5	0,962 / 0,99 / 0,985	0,896
4 azar	replicator	1	0,066 / 0,07 / 0,039	0,008
4 azar	replicator	5	<u>0,021 / 0,826 / 0,04</u> <u>0,055 / 0,061 / 0,063</u>	0,014
4 azar	MaxiMax	1	0,998 / 1 / 1	0
4 azar	MaxiMax	5	0,947 / 0,996 / 0,963	0
4 azar	Utilidad esperada	1	1,00 / 0,999 / 0,998	0
4 azar	Utilidad esperada	5	0,988 / 0,97 / 0,983	0
8	replicator	1	0,77 / 0,728 / 0,884	0,007
8	replicator	5	0,831 / 0,752 / 0,85	0,022
8	MaxiMax	1	1 / 0,998 / 0,999	0,965
8	MaxiMax	5	0,974 / 0,998 / 0,982	0,953
8	Utilidad esperada	1	0,999 / 0,999 / 1	0,946
8	Utilidad esperada	5	0,983 / 0,97 / 0,97	0,892

8 azar	replicator	1	0,888 / 0,898 / 0,866	0,008
8 azar	replicator	5	<u>0,109 / 0,79 / 0,863</u> <u>0,782 / 0,06 / 0,821</u>	0,008
8 azar	MaxiMax	1	0,999 / 0,999 / 0,999	0
8 azar	MaxiMax	5	0,978 / 0,918 / 0,989	0
8 azar	Utilidad esperada	1	1,00 / 0,999 / 0,999	0
8 azar	Utilidad esperada	5	0,996 / 0,974 / 0,965	0
4 + 4 azar	replicator	1	<u>0,061 / 0,925 / 0,79</u> <u>0,083 / 0,858 / 0,882</u>	0,01
4 + 4 azar	replicator	5	<u>0,061 / 0,1 / 0,865</u> <u>0,857 / 0,105 / 0,859</u>	0,01
4 + 4 azar	MaxiMax	1	0,998 / 0,999 / 0,999	0
4 + 4 azar	MaxiMax	5	1,00 / 0,992 / 0,981	0
4 + 4 azar	Utilidad esperada	1	0,999 / 0,999 / 0,999	0
4 + 4 azar	Utilidad esperada	5	0,989 / 0,98 / 0,969	<u>0 / 1 / 1 / 0 / 0 / 0</u>
12	replicator	1	0,849 / 0,815 / 0,831	0,008
12	replicator	5	0,803 / 0,821 / 0,839	0,01
12	MaxiMax	1	1,00 / 1,00 / 1	0,999
12	MaxiMax	5	0,972 / 0,993 / 0,994	0,934
12	Utilidad esperada	1	1 / 1 / 1,00	0,989
12	Utilidad esperada	5	0,991 / 0,988 / 0,986	0,901
12 azar	replicator	1	0,857 / 0,879 / 0,89	0,01
12 azar	replicator	5	0,864 / 0,862 / 0,803	0,014
12 azar	MaxiMax	1	0,998 / 0,999 / 0,998	0
12 azar	MaxiMax	5	0,992 / 0,942 / 0,988	0
12 azar	Utilidad esperada	1	0,999 / 0,999 / 0,999	0
12 azar	Utilidad esperada	5	0,97 / 0,999 / 0,987	0
8 + 8 azar	replicator	1	0,897 / 0,892 / 0,902	0,01
8 + 8 azar	replicator	5	<u>0,821 / 0,05 / 0,094</u> <u>0,092 / 0,841 / 0,816</u>	0,02
8 + 8 azar	MaxiMax	1	0,999 / 0,999 / 0,999	0,01
8 + 8 azar	MaxiMax	5	0,994 / 0,976 / 0,969	0
8 + 8 azar	Utilidad esperada	1	0,999 / 0,998 / 0,998	<u>0 / 1 / 0 / 1 / 0 / 1</u>
8 + 8 azar	Utilidad esperada	5	0,986 / 0,986 / 0,992	<u>0 / 1 / 0 / 1 / 0 / 1</u>
16	replicator	1	0,88 / 0,833 / 0,829	0
16	replicator	5	<u>0,89 / 0,828 / 0,095</u> <u>0,653 / 0,857 / 0,812</u>	0,018
16	MaxiMax	1	0,999 / 1 / 1	0,95
16	MaxiMax	5	0,939 / 0,984 / 0,947	0,8
16	Utilidad esperada	1	1,00 / 1,00 / 1,00	<u>0 / 1 / 0 / 1 / 0 / 1</u>
16	Utilidad esperada	5	0,992 / 0,989 / 0,983	<u>0 / 1 / 0 / 1 / 0 / 1</u>
16 azar	replicator	1	<u>0,886 / 0,89 / 0,038</u> <u>0,872 / 0,023 / 0,773</u>	0

16 azar	replicator	5	0,819 / 0,819 / 0,816	0,022
16 azar	MaxiMax	1	0,979 / 0,996 / 0,997	0
16 azar	MaxiMax	5	0,95 / 0,976 / 0,966	0
16 azar	Utilidad esperada	1	1 / 0,996 / 1	0
16 azar	Utilidad esperada	5	0,98 / 1 / 0,999	0
12 + 12 azar	replicator	1	0,87 / 0,882 / 0,821	0
12 + 12 azar	replicator	5	0,807 / 0,792 / 0,874	0
12 + 12 azar	MaxiMax	1	0,997 / 0,996 / 0,996	<u>0,934 / 0 / 0</u> <u>0,84 / 0,909 / 0,991</u>
12 + 12 azar	MaxiMax	5	0,999 / 0,931 / 0,998	<u>0,707 / 0 / 0,992</u> <u>0,899 / 0 / 0</u>
12 + 12 azar	Utilidad esperada	1	0,998 / 0,997 / 0,997	0
12 + 12 azar	Utilidad esperada	5	0,986 / 0,976 / 0,995	<u>0 / 0 / 0,844</u> <u>0 / 0 / 0,774</u>
24	replicator	1	0,821 / 0,81 / 0,877	0,029
24	replicator	5	0,817 / 0,839 / 0,602	0,105
24	MaxiMax	1	0,998 / 1 / 0,998	0,95
24	MaxiMax	5	0,969 / 0,961 / 0,987	0,94
24	Utilidad esperada	1	0,979 / 0,999 / 0,995	0,897
24	Utilidad esperada	5	0,988 / 0,989 / 1	0,908
24 azar	replicator	1	0,848 / 0,873 / 0,887	0 / 0,00 / 0,01
24 azar	replicator	5	0,87 / 0,85 / 0,824	0,025 / 0,045 / 0,046
24 azar	MaxiMax	1	0,995 / 0,964 / 0,935	<u>0 / 0,917 / 0,131</u> <u>0,833 / 0,869 / 0,788</u>
24 azar	MaxiMax	5	0,978 / 0,979 / 0,973	<u>0,883 / 0 / 0,972</u> <u>0,014 / 0,814 / 0</u>
24 azar	Utilidad esperada	1	0,997 / 0,988 / 0,998	0 / 0,00 / 0,01
24 azar	Utilidad esperada	5	0,969 / 0,968 / 0,974	0 / 0,00 / 0,00

Bibliografía

- AGUIAR, F. (Comp.) (1991): *Intereses individuales y acción colectiva*, Madrid, Ed. Pablo Iglesias.
- AUMANN, R. J. (1974): “Subjectivity and correlation in randomized strategies”, *Journal of Mathematical Economics*, Vol. 1, pp. 67 – 96.
- (1976): “Agreeing to Disagree”, *Annals of Statistics*, Vol. 4 (6), pp. 1236 – 1239.
- (1987): “Correlated equilibrium as an expression of Bayesian rationality”, *Econometrica*, Vol. 55 (1), pp. 1 – 18.
- ARISTÓTELES (1978): *De Anima*, Madrid, Gredos.
- ARROW, K. J. (1951): *Social Choice and Individual Values*, New York, John Wiley & Sons.
- AXELROD, R. (1986): *La evolución de la cooperación*, Madrid, Alianza.
- (1997): *The Complexity of Cooperation*, Princeton, Princeton University Press.
- (2003): “Advancing the Art of Simulation in Social Sciences”, *Japanese for Management Information System*, Special Issue on Agent-Based Modeling, Vol. 12 (3).
- BARRAGÁN, J. y SALCEDO, D. (Comps.) (2006): *Las razones de los demás: la filosofía moral de John Harsanyi*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- BENTHAM, J. (1988): *The principles of morals and legislation*, New York, Prometheus Books.
- BICCHIERI, C. (1993): *Rationality and Coordination*, New York, Cambridge University Press.
- (2004): “Rationality and Game Theory”, en Mele, A. y Rawling, P. (Eds.), *The Oxford Handbook of Rationality*, New York, Oxford University Press.
- BICCHIERI, C., DUFFY, J. y TOLLE, G. (2004): “Trust among Strangers”, *Philosophy of Science*, Vol. 71, pp. 286 – 319.
- BINMORE, K. (1990): *Essays on the Foundations of Game Theory*, Oxford, Blackwell.
- (1992): *Fun and Games. A Text on Game Theory*, Lexington MA, D. C. Heath and Company.
- (1998): “The Complexity of Cooperation. A long review by Ken Binmore”, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 1 (1).
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/1/review1.html>
- BRAITHWAITE, R. B. (1954): *Theory of Games as a Tool for the Moral Philosopher*, Bristol, Thoemmes Press.
- BRATLEY, P., FOX, B. y SCHRAGE, L. (1987): *A Guide to Simulation*, New York, Springer.
- CAMPBELL, R. (1988): “Gauthier’s theory of morals by agreement”, *The Philosophical Quarterly*, Vol. 38 (152), pp. 343 – 364.

- CASTRODEZA, C. (1999): *Razón biológica: la base evolucionista del pensamiento*, Madrid, Minerva Ediciones.
- CRAWFORD, V. y SOBEL, J. (1982): “Strategic Information Transmission”, *Econometrica*, Vol. 50 (6), pp. 1431 – 1451.
- DANIELSON, P. (1988): “The Visible Hand of Morality”, *Canadian Journal of Philosophy*, Vol. 18 (2), pp. 357 – 384.
- (1992): *Artificial Morality. Virtuous robots for virtual games*, New York, Routledge.
- (1998a): “Evolutionary Models of Co-operative Mechanism: Artificial Morality and Genetic Programming”, en Danielson, P. (Ed.), *Modelling, Morality and Evolution*, New York, Oxford University Press.
- (Ed.) (1998b): *Modelling, Morality and Evolution*, New York, Oxford University Press.
- (2002): “Competition among cooperators: Altruism and reciprocity”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99 (10) Supplement 3, May 14, pp. 7237 – 7242.
- (2004): “Rationality and Evolution”, en Mele, A. y Rawling, P. (Eds.), *The Oxford Handbook of Rationality*, New York, Oxford University Press.
- DARWIN, C. (2003): *El origen de las especies*, Madrid, Alianza.
- (2004): *The Descent of Man*, London, Penguin Classics.
- DAWKINS, R. (1989): *The Selfish Gene*, Oxford, Oxford University Press.
- DENNETT, D. (1988): “When philosophers encounter artificial intelligence”, *Daedalus*, Vol. 117 (1), pp. 283 – 296.
- (2004): *Freedom Evolves*, London, Penguin.
- DOEBELL, M. y HAUERT, C. (2005): “Models of cooperation based on the Prisoner’s Dilemma and the Snowdrift game”, *Ecology Letters*, 8, pp. 748 – 766.
- DOMENECH, A. (1989): *De la Ética a la política: de la razón erótica a la razón inerte*, Barcelona, Crítica.
- EDGEWORTH, F. Y. (2003): “Mathematical Psychics”, en Newman, P. (Ed.), *F. Y. Edgeworth’s Mathematical Psychics and Further Papers on Political Economy*, Oxford, Oxford University Press.
- ELSTER, J. (Ed.) (1986): *Rational Choice*, Oxford, Blackwell.
- (1988): *Uvas amargas*, Barcelona, Península.
- (1993): *Tuercas y tornillos*, Barcelona, Gedisa.
- FRANCÉS, P. (1996): *El Contrato Moral. Individuo, racionalidad, acuerdo y la teoría ética de David Gauthier*, Madrid, Servicio de publicaciones de la UCM.

- FRANCÉS, P. y DEL RIO, A. (2006): “Juegos evolutivos y comparaciones interpersonales de utilidad”, en BARRAGÁN, J. y SALCEDO, D. (Comps.): *Las razones de los demás: la filosofía moral de John Harsanyi*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- FRIEDMAN, M. (1966): “The Methodology of Positive Economics”, en Friedman, M., *Essays in Positive Economics*, Chicago, Chicago University Press.
- GALE, J., BINMORE, K. y SAMUELSON, L. (1995): “Learning To be Imperfect: The Ultimatum Game”, *Games and Economic Behavior*, Vol. 8 (1), pp. 56 – 90.
- GAUTHIER, D. (1988): “Moral Artifice”, *Canadian Journal of Philosophy*, Vol. 18 (2), pp. 385 – 418.
- (1991): “Why contractarianism?”, en Vallentyne, P. (Ed.), *Contractarianism and Rational Choice. Essays on David Gauthier’s Morals by Agreement*, New York, Cambridge University Press.
- (1998a): “El egoísta incompleto”, en Gauthier, D., *Egoísmo, moralidad y sociedad liberal*, Barcelona, Paidós.
- (1998b): “Asegurar y amenazar”, en Gauthier, D., *Egoísmo, moralidad y sociedad liberal*, Barcelona, Paidós.
- (1998c): *Egoísmo, moralidad y sociedad liberal* (Introducción y traducción de Pedro Francés), Barcelona, Paidós.
- (2000): *La moral por acuerdo* (Traducción de Alcira Bixio), Barcelona, Gedisa.
- GIBBONS, R. (1992): *Game Theory for Applied Economics*, Princeton, Princeton University Press.
- (1997): “An Introduction to Applicable Game Theory”, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 11 (1), pp. 127 – 149.
- GIGERENZER, G. y SELTEN, R. (Eds.) (2002): *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*, Massachusetts, MIT Press.
- GOODIN, R. E. y PETTIT, P. (1993): *A Companion to Contemporary Political Philosophy*, Oxford, Blackwell.
- GRIM, P. (1995): “The Greater Generosity of the Spatialized Prisoner’s Dilemma”, *Journal of Theoretical Biology*, 173, pp. 353 – 359.
- (1997): “The Undecidability of the Spatialized Prisoner’s Dilemma”, *Theory and Decision*, 42, pp. 53 – 80.
- GUTIÉRREZ LÓPEZ, G. (2000): *Ética y decisión racional*, Madrid, Síntesis.
- (2004): “Utilidad y disutilidades de la noción de utilidad”, en Lara, F. y Francés, P. (Eds.), *Ética sin dogmas. Racionalidad, consecuencialismo y bienestar en el utilitarismo*, Madrid, Biblioteca Nueva.

- HAMMERSTEIN, P. (1983): "Game Theory in the Ecological Context", *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, Vol. 14, pp. 377 – 409.
- HAMPTON, J. (1988): *Hobbes and the Social Contract Tradition*, Cambridge, Cambridge University Press
- (1991): "Two faces of contractarian thought", en Vallentyne, P. (Ed.), *Contractarianism and Rational Choice. Essays on David Gauthier's Morals by Agreement*, New York, Cambridge University Press.
- HARDIN, G. (1968): "The Tragedy of the Commons", *Science*, Vol. 162 (3859), pp. 1243 – 1248.
- HARE, R. M. (1952): *The Language of Morals*, Oxford, Oxford University Press.
- HARSANYI, J. (1956): "Approaches to the Bargaining Problem before and after the Theory of Games: a critical discussion of Zeuthen's, Hicks' and Nash's Theories", *Econometrica*, Vol. 24 (2), pp. 144 – 157.
- (1958): "Cardinal Welfare, Individualistic Ethics, and Interpersonal Comparisons of Utility", *Mind*, No. 67, pp. 305 – 316.
- (1961): "On the Rationality Postulates Underlying the Theory of Cooperative Games", *The Journal of Conflict Resolution*, Vol. 5 (2), pp. 179 – 196.
- (1962a): "Rationality Postulates for Bargaining Solutions in Cooperative and in Non-Cooperative Games", *Management Science*, Vol. 9 (1), pp. 141 – 153.
- (1962b): "Bargaining in ignorance of the opponent's utility function", *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 6 (1), pp. 29 – 38.
- (1967 – 68): "Games with Incomplete Information Played by Bayesian Players", Parts I – III, *Management Science*, Vol. 14 (3, 5, 7), Theory Series, pp. 159 – 182, 320 – 334, 486 – 502.
- (1976a): *Essays on Ethics, Social Behavior, and Scientific Explanation*, Dordrecht – Holland, D. Reidel Publishing Company.
- (1976b): "Can the Maximin Principle Serve as a Basis for Morality? A Critique of John Rawls Theory", en Harsanyi, J., *Essays on Ethics, Social Behaviour and Scientific Explanation*, Dordrecht – Holland, D. Reidel Publishing Company.
- (1977): *Rational Behavior and Bargaining Equilibrium in Games and Social Situations*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1986): "Advances in Understanding Rational Behavior", en Elster, J. (Ed.), *Rational Choice*, Oxford, Blackwell.
- (1994): "Games With Incomplete Information" (Nobel Lecture).
- HAUERT, C. y DOEBELI, M. (2004): "Spatial structure often inhibits the evolution of cooperation in the snowdrift game", *Nature*, Vol. 428 (6983), pp. 643 – 646.

- HAYES, B. (1984): “Juegos de ordenador”, *Investigación y Ciencia*, No. 92, pp. 102 – 111.
- HENRICH, J. (2000): “Does Culture Matter in Economic Behavior? Ultimatum Game Bargaining Among the Machiguenga of the Peruvian Amazon”, *The American Economic Review*, Vol. 90 (4), pp. 973 – 979.
- HOBBS, T. (2004): *Leviatán*, Madrid, Alianza.
- HOLLAND, J. (1975): *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Michigan, University of Michigan Press.
- (1980): “Adaptative Algorithms for Discovering and Using General Patterns in Growing Knowledge Bases”, *International Journal of Policy Analysis and Information Systems*, Vol. 4, pp. 245 – 268.
- (1992): “Genetic Algorithms”, *Scientific American*, No. 267, pp. 66 – 72.
- HUME, D. (1902): *Enquires Concerning The Human Understanding And Concerning the Principles of Morals*, Oxford, Clarendon Press.
- (1978): *A Treatise of Human Nature*, Oxford, Oxford University Press
- JOYCE, R. (1996): *The Evolution of Morality*, Massachusetts, MIT Press.
- KANT, I. (1993): *Crítica de la razón pura* (Prólogo, traducción y notas de Pedro Rivas), Madrid, Alfaguara.
- (1995a): *Crítica de la razón práctica* (Traducción de E. Miñana y Villagrasa y Manuel García Morente), Salamanca, Sígueme.
- (1995b): *Crítica del Juicio* (Traducción de Manuel García Morente), Madrid, Espasa-Calpe.
- (1996): *Fundamentación de la metafísica de las costumbres* (Traducción de José Mardomingo), Barcelona, Ariel.
- (2000): *La paz perpetua*, Madrid, Espasa-Calpe.
- KILLINGBACK, T. y DOEBELI, M. (2002): “The Continuous Prisoner’s Dilemma and the Evolution of Cooperation through Reciprocal Altruism with Variable Investment”, *The American Naturalist*, Vol. 160 (4), pp. 421 – 438.
- KILLINGBACK, T., DOEBELI, M. y KNOWLTON, N. (1999): “Variable investment, the Continuous Prisoner’s Dilemma, and the origin of cooperation”, *Proc. R. Soc. Lond. B*, 266, pp. 1723 – 1728.
- KORSGAARD, C. M. (1992): “The Sources of Morality” (The Tanner Lectures on Human Values).
- (1996): *The Sources of Normativity*, Cambridge, Cambridge University Press.
- KREPS, D. y WILSON, R. (1982a): “Sequential Equilibria”, *Econometrica*, Vol. 50 (4), pp. 863 – 894.

- (1982b): “Reputation and Imperfect Information”, *Journal of Economic Theory*, Vol. 27, pp. 253 – 279.
- LARA, F. y FRANCÉS, P. (Eds.) (2004): *Ética sin dogmas. Racionalidad, consecuencialismo y bienestar en el utilitarismo*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- LEVINSON, S. C. (1995): “Interactional biases in human thinking”, en Goody, E. (Ed.), *Social Intelligence and Interaction*, Cambridge, Cambridge University Press.
- LEWIS, D. (1969): *Convention: A Philosophical Study*, Cambridge MA, Harvard University Press.
- LORENZ, K. Z. (1974): “Analogy as a Source of Knowledge”, *Science*, New Series, Vol. 185 (4147), pp. 229 – 234.
- LUCE, R. D. y RAIFFA, H. (1957): *Games and Decision*, New York, John Wiley & Sons.
- MACINTYRE, A. (1969): “Hume on ‘Is’ and ‘Ought’”, *The Philosophical Review*, Vol. 68 (4), pp. 451 – 468.
- (1987): *Tras la virtud*, Barcelona, Crítica.
- MAYNARD SMITH, J. (1977): *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1993): *The Theory of Evolution*, Cambridge, Cambridge University Press.
- MILGROM, P. y ROBERTS, J. (1982a): “Limit Pricing and Entry under Incomplete Information: An Equilibrium Analysis”, *Econometrica*, Vol. 50 (2), pp. 443 – 460.
- (1982b): “Predation, reputation and entry deterrence”, *Journal of Economic Theory*, Vol. 27, pp. 280 – 312.
- MILL, J. S. (1994): *El utilitarismo* (Introducción, traducción y notas de Esperanza Guisán), Madrid, Alianza.
- MONGIN, P. (1997): “Expected Utility Theory”, en Davis, J., Hands, W., y Maki, U. (Eds.), *Handbook of Economic Methodology*, London, Edward Elgar.
- MOORE, G. E. (2002), *Principia Ethica* (Traducción de María Vázquez Guisán), Barcelona, Crítica.
- NASH, J. (1950a): “Equilibrium Points in n-Person Games”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 36 (1), Jan. 15, pp. 48 – 49.
- (1950b): “The Bargaining Problem”, *Econometrica*, Vol. 18 (2), pp. 155 – 162.
- (1951): “Non-cooperative games”, *The Annals of Mathematics*, 2nd Ser., Vol. 54 (2), pp. 286 – 295.
- (1953): “Two Person Cooperative Games”, *Econometrica*, Vol. 21 (1), pp. 128 – 140.
- NEWMAN, P. (Ed.), *F. Y. Edgeworth’s Mathematical Psychics and Further Papers on Political Economy*, Oxford, Oxford University Press.
- NIETZSCHE, F. (2005): *La genealogía de la moral: un escrito polémico*, Madrid, Alianza.

- NOWAK, M. y MAY, R. (1992): "Evolutionary Games and Spatial Chaos", *Nature*, Vol. 359, pp. 826 – 829.
- NOWAK, M., PAGE, K. y SIGMUND, K. (2000): "Fairness Versus Reason in the Ultimatum Game", *Science*, Vol. 289 (5485), 8 Sep., pp. 1773 – 1775.
- NOWAK, M. y SIGMUND, K. (1992): "Tit for tat in heterogeneous populations", *Nature*, Vol. 355, pp. 250 – 252.
- (1999): "Phage-lift for game theory", *Nature*, Vol. 398, pp. 367 – 368.
- (2000): "En los orígenes de la cooperación", *Mundo Científico*, No. 208.
- PARFIT, D. (1986): *Reasons and Persons*, Oxford, Clarendon Press.
- (1991): "Prudencia, moralidad y el dilema del prisionero" (traducción de Gilberto Gutiérrez López), *Excerpta Philosophica*, Madrid, Facultad de Filosofía de la UCM.
- PLATÓN (2000): *La República*, Madrid, Gredos.
- POPPER, K. (1979): *El Desarrollo del Conocimiento Científico: Conjeturas y Refutaciones*, Buenos Aires, Paidós.
- (2001): *Conocimiento objetivo: un enfoque evolucionista*, Madrid, Tecnos.
- PUTNAM, H. (2004): *The Collapse of the Fact/Value Dichotomy and Other Essays*, Cambridge MA, Harvard University Press.
- RAMSEY, F. (1954): *The Foundations of Mathematics and Other Logical Essays*, London, Routledge & Kegan Paul.
- RAPOPORT, A. (Ed.) (1974): *Game Theory as a Theory of Conflict Resolution*, Dordrecht – Holland, D. Reidel Publishing Company.
- RAWLS, J. (1999): *A Theory of Justice*, Cambridge MA, Harvard University Press.
- RESNIK, M. D. (1987): *Choices: An Introduction to Decision Theory*, Minneapolis, University of Minnesota Press.
- RODRÍGUEZ LÓPEZ, B. (1991): *Moralidad y cooperación racional*, Madrid, Servicio de publicaciones de la UCM.
- (2004): "El agente racional y sus acciones", en Lara, F. y Francés, P. (Eds.), *Ética sin dogmas. Racionalidad, consecuencialismo y bienestar en el utilitarismo*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- ROSSI, P. (1990): *Las arañas y las hormigas: una apología de la historia de la ciencia*, Barcelona, Crítica.
- RUBINSTEIN, A. (1979): "Equilibrium in Supergames with the Overtaking Criterion", *Journal of Economic Theory*, Vol. 21 (1), pp. 1 – 9.
- RUSE, M. (1986): *Taking Darwin Seriously*, New York, Blackwell.

- (1995): “La significación de la evolución”, en Singer, P. (Ed.), *Compendio de Ética*, Madrid, Alianza.
- SALCEDO, D. (2004): “La metodología utilitarista del análisis de las instituciones sociales según J. C. Harsanyi”, en Lara, F. y Francés, P. (Eds.), *Ética sin dogmas. Racionalidad, consecuencialismo y bienestar en el utilitarismo*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- SAMUELSON, L. (1997): *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*, Series on Economic Learning and Social Evolution, Cambridge, MIT Press.
- SAMUELSON, P. A. (1938): “A Note on the Pure Theory of Consumer’s Behaviour”, *Economica*, Vol. 5 (17), pp. 61 – 71.
- SÁNCHEZ-CUENCA RODRÍGUEZ, I. (2004): *Teoría de juegos*, Madrid, Centro de Investigaciones Sociológicas.
- SAVAGE, L. J. (1972): *The Foundations of Statistics*, New York, Dover Publications.
- SCHELLING, T. C. (1960): *The Strategy of Conflict*, Cambridge MA, Harvard University Press, 1960.
- (1978): *Micromotives and Macrobehavior*, New York, W. W. Norton & Company.
- SCHOEMAKER, P. J. (1982): “The Expected Utility Model: Its Variants, Purposes, Evidence and Limitations”, *Journal of Economic Literature*, Vol. 20, pp. 529 – 563.
- SCHUSTER, P. y SIGMUND, K. (1983): “Replicator Dynamics”, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 100 (3), pp. 533 – 538.
- SEARLE, J. (1964): “How to derive ‘ought’ from ‘is’”, *The Philosophical Review*, Vol. 73 (1), pp. 43 – 58.
- SELTEN, R. (1965): “Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfragerträgeit”, *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, Vol. 121 (2), pp. 301 – 324.
- (1975): “A reexamination of the perfectness concept of equilibrium points in extensive games”, *International Journal of Game Theory*, Vol. 4 (1), pp. 25 – 55.
- (1978): “The chain-store paradox”, *Theory and Decision*, Vol. 9 (2), pp. 127 – 159.
- (2002): “What is Bounded Rationality”, en Gigerenzer G. y Selten, R. (Eds.), *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*, Massachusetts, MIT Press.
- SEN, A. (1986): “Behaviour and the Concept of Preference”, en Elster, J. (Ed.), *Rational Choice*, Oxford, Blackwell.
- SIDGWICK, Henry, *The Methods of Ethics*, Indianapolis, Hackett Publishing Co.
- SIEBRASSE, N., *Game Theory Software*, <http://law.unb.ca/Siebrasse/GameTheory.htm>
- SIGMUND, K. (1995): *Games of Life: Explorations in Ecology, Evolution and Behavior*, London, Penguin.
- (2002): “La economía del juego limpio”, *Investigación y Ciencia*, No. 306, pp. 23 – 27

- SIMON, H. (1957): *Models of Man: social and rational mathematical essays on rational behavior in a social setting*, New York, John Wiley & Sons.
- SINGER, P. (Ed.) (1995): *Compendio de Ética*, Madrid, Alianza
- (2000): *Una izquierda darwiniana. Política, evolución y cooperación*, Barcelona, Crítica.
- SKYRMS, B. (1990): *The Dynamics of Rational Deliberation*, Cambridge MA, Harvard University Press
- (1996): *Evolution of Social Contract*, Cambridge, Cambridge University Press
- (2000): “Game Theory, Rationality and Evolution of the Social Contract”, *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 8 (1 – 2), pp. 269 – 284.
- (2004): *THE STAG HUNT AND THE EVOLUTION OF SOCIAL STRUCTURE*, NEW YORK, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- SMITH, H. (1991): “Deriving morality from rationality”, en Valentyne, P. (Ed.), *Contractarianism and Rational Choice: Essays on Gauthier*, New York, Cambridge University Press.
- SOBER, E. y WILSON, D. S. (2000): “Summary of: ‘Unto Others’. The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior”, *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 7 (1 – 2), pp. 185 – 206.
- SPINOZA, B. (1995): *Ética*, Madrid, Alianza.
- TUCK, R. (1993), “The contribution of history”, en Goodin, R. y Pettit, P. (Eds.), *A Companion to Contemporary Political Philosophy*.
- VALLENTYNE, P. (Ed.) (1991): *Contractarianism and Rational Choice. Essays on David Gauthier’s Morals by Agreement*, New York, Cambridge University Press.
- VON NEUMANN, J. (1928): “Zur Theorie der Gesellschaftsspiele”, *Mathematische Annalen*, No. 100, pp. 295 – 320.
- VON NEUMANN, J. y MORGENSTERN, O. (1947): *Theory of Games and Economic Behaviour*, Princeton, Princeton University Press.
- VON WRIGHT, G. (1979): *Explicación y comprensión*, Madrid, Alianza.
- WILLIAMS, B. (1987): *Introducción a la Ética*, Madrid, Cátedra.
- WILSON, E. O. (1988): *On Human Nature*, Cambridge MA, Harvard University Press.

Recursos en internet ordenados por temas
(enlaces activos 21.02.2007)

- Conway's Game of Life / Autómata celular
www.bitstorm.org/gameoflife/
<http://www.fourmilab.ch/cellab/manual/rules.html>

- Maynard Smith / Replicator dynamics
http://bioquest.org/esteem/esteem_details.php?product_id=262

- Simulaciones en Teoría de juegos
<http://law.unb.ca/Siebrasse/GameTheory.htm> (Norman Siebrasse)
<http://prisonersdilemma.groenefee.nl/> (dilema del prisionero espacial)
<http://www.geocities.com/arieldelrio74/Teoriadejuegos.htm>
(página en construcción con el programa *Bichos* y actualizaciones)
<http://www.gametheory.net/applets/evolution.html> (varias simulaciones)

- Otros recursos on line
The Journal of Artificial Societies and Social Simulation
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html>
The Maurice W. Young Centre for Applied Ethics
<http://www.ethics.ubc.ca/people/danielson/index.htm>
(P. Danielson Homepage)
Danielson, P. (2002): "Modeling Ethical Mechanism", en
www.ethics.ubc.ca/pad/ModEthMec/Application.pdf