<u>INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO</u>

HEURÍSTICAS, EVOLUCIÓN y MORAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIA POLÍTICA

PRESENTA

ANDRÉS CAMPERO NÚÑEZ

DR. JEFFREY ALLEN WELDON UITTI

MÉXICO, D.F. 2014

Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimonial de la obra titulada "HERUÍSTICAS, EVOLUCIÓN Y MORAL" otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Tecnológico Autónomo de México y a la Biblioteca Raúl Bailléres Jr., autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y divulguen entre sus usuarios, profesores, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

ANDRÉS CAMPERO NÚÑEZ

FECHA

FIRMA

Heurísticas, Evolución y Moral

Resumen

Esta tesis postula que los humanos siguen reglas heurísticas en vez de procedimientos completamente racionales cuando toman decisiones. Las heurísticas son formalizadas en el contexto de procedimientos de decisión como una mezcla entre un procedimiento racional y uno mecánico. El caso particular de la moral es analizado en un marco de teoría de juegos en el que la complejidad importa para mostrar que la moral puede evolucionar como una heurística que sostiene al equilibrio cooperativo. La moral cambia la función de utilidad subjetiva y reduce la capacidad cognitiva requerida, esto la hace más flexible que otras estrategias completamente mecánicas y más simple que otros procedimientos completamente racionales. Se simula un torneo del Dilema del Prisionero repetido sujeto a choques aleatorios. Los resultados muestran que cuando la complejidad influye en el proceso evolutivo, después de varias generaciones, el procedimiento moral heurístico termina con la mayor proporción de la población. Esto sucede tanto enfrente de un procedimiento completamente racional que siempre sigue las mejores respuestas como de otras estrategias estándar que son completamente mecánicas como Tit for Tat.

Agradecimientos

Qué padre es dar agradecimientos. Me veo tentado a decir “Gracias a Todos” y ya, no sería un agradecimiento no genuino. Pero pienso que siempre será padre más al rato en la vida poder pensar en nombres que me darán momentos y recuerdos de mi periodo universitario.

Pues... gracias a mi familia. El soporte que me hace ser alegre. A mi mamá porque me crío y me hizo ser como soy. A mi papá porque siempre me apoyó en mis proyectos y estudios. A mi hermano porque es tan chido y porque es mi hermano.

Gracias a mis amigos. Lo más chido de este periodo siempre fue con mis amigos. En los vilazos, con Vila, Parringui, Cabrera, House, Omar, Corro, Daniel, Mau, Raúl. En los viajes, con Montse, Mariana, Daniel, Lorenzo, Arturo, Nair, Armando, Annina, Los Sombreros de Palma, Alfredito, mis primos. Gracias a Mareldi. Gracias por muchas de las pláticas geniales, con Daniel, con Alejandro, con Armando, con Lorenzo, con Mariana, con Montse, con Vila y con tantos otros. En las comidas, con Daniel, con Fer, con House, con Vila, con Montse, con Mariana, con Armando, con Lorenzo, con Mariana Yebale, con Alex. En el fut, con Alex, con Daniel, con los Dioses Piratas, con los Orozquitos. Gracias a mis compañeros de clases, a los de primeros semestres, a los de fundamentos, a los de la maestría, a los de ciencia política, a los de matemáticas y a los de economía. Gracias también a Teresa. En la repre, gracias a Samuel, a Lorenzo, a Guty, a Andrea, a Jess, a Juan Carlos, a Julián, a House, a Potapczynski. En el Foe, a Lorenzo, a Armando, a Christopher. En China, a Fausto y a Alissa. Gracias a Enlace. Gracias por muchos otros momentos, a Georges, a Vick, a Jimmy, a Colmilludo, a Mercurio, a Attolini, a Oscarín, a Immanol, al Jocaptain y a Jorge, a Aurea, a Laguna, a Mike, a Aldrin, a Néstor, a Francisco, a Orozco, a Julián Zinser, a Jorgito, a Juan Memo, a Chavita, a Patiño, a Fer y a otros muchos por otras muchas cosas.

Gracias a los Guardianes ACD, ANC, ASM, DHR, EDC, EVZ, LAL, MAA, MAN, MAP, NNP, OHP, RFA.

Gracias a mis profesores. En especial a César, a Andrei y a Jeffrey. Aunque parezca un requerimento formal, puedo pensar realmente cómo me inspiraron. También puedo pensar detenidamente cómo fueron un apoyo. También gracias a mis otros sinodales, Tridib Sharma, Diego Domínguez y Federico Estévez. Gracias al resto de mis otros profesores, en especial a aquellos que me hicieron realmente disfrutar mis momentos de clase: Vlad, Cobo, Joyce, Melissas, Alejandro Hernández, Mauricio García Bullé (a quien siempre le cambié de nombre), Carlos Sales, Mendoza, Alejandro Díaz, Salmerón, Herrán, Curcó, Eric Magar, Pepe Merino, Levent Ulku, Arturo Sánchez Gutiérrez, Rafael Gamboa.

Jajajaja, qué chido!!!

Gracias

Prólogo

Es probable que las dos preguntas que más estuvieron dando vueltas en mi cabeza a lo largo de mi carrera estén contenidas en esta tesis. Ambas comenzaron a atrapar mi atención al menos desde segundo semestre y están relacionadas respectivamente con la moral y con la inteligencia. Dos temas tan intrigantes, generales y complejos que se siguen analizando desde distintas perspectivas, como hicieron Aristóteles, Kant, Nietzsche y tantos otros.

La primer de estas preguntas es ¿por qué tenemos moral? Recuerdo en segundo semestre en clase de Teoría Política Clásica I con Eric Herrán que comencé a darme cuenta de que la moral está más allá del bien y el mal. Es decir, no está fundamentada racionalmente. Los humanos somos morales simplemente porque ese es el resultado de la historia del universo.

La segunda pregunta es ¿qué son la inteligencia y la consciencia? ¿cuál es la diferencia entre un termómetro y una computadora o un humano? Desde una perspectiva materialista, los tres son sistemas que reciben un input, realizan un proceso y arrojan un output. La diferencia entre el primero y los dos segundos parece tener que ver con que el primero arroja su output de manera automática mientras que los dos segundos siguen cierto procedimiento para elegir el output.

Este trabajo está relacionado con ambas preguntas y estudia sistemas que siguen distintos procedimientos para decidir. Algunos morales, algunos racionales, algunos no. Si pongo atención cuando camino, puedo ver que la gente sí es, al menos parcialmente, racional. Es decir, evalúa sus opciones y decide. Pero también puedo ver que tiene sentimientos y emociones que no son racionales y que no los hacen actuar racionalmente. ¿Por qué?

En las ciencias sociales, la ley sobre la que menos duda tengo es la ley de la evolución. Los humanos somos como somos porque somos el resultado de un proceso evolutivo. Me parece intuitivamente más fácil responder al por qué de la inteligencia: ser inteligentes quiere decir poder comparar distintas acciones y elegir las óptimas. Me parece más complicado entender por qué tenemos sentimientos y emociones. Este trabajo plantea una posible respuesta: los sentimientos nos sirven como heurísticas para tomar acciones que de otro modo podrían ser complicadas de obtener racionalmente.

Creo que es similar a lo que sucede con los programas que juegan ajedrez. Estos utilizan heurísticas, es decir, no contemplan todas sus opciones y tienen objetivos parciales distintos al objetivo final de ganar el juego. Los humanos sí siguen procedimientos racionales pero solo parcialmente. Por eso son heurísticas, procedimientos de decisión que no son completamente racionales pero que son suficientemente sencillos como para permitir tomar decisiones de manera rápida y suficientemente correcta.

El estudio de la racionalidad ha sido central a lo largo de toda mi formación académica. A pesar de su irrealismo, domina en las ciencias sociales. Las dos herramientas analíticas que más me cautivaron durante mi carrera pertenecen al estudio de la racionalidad y son la teoría de juegos y el estudio de la teoría de la decisión. Desde segundo semestre en clase de Elección Pública II y en varias otras clases como la de César Martinelli, me gustó mucho la teoría de juegos.

Ésta, sin llegar al punto de plantear modelos que como en otras subdisciplinas de las ciencias sociales, para mi gusto, se alejan demasiado de la realidad, mantiene la elegancia y la formalización matemática que permite llegar a resultados inequívocos y puede proveer intuiciones sobre como funcionan las cuestiones sociales. Por otro lado, clases como las de Teoría del Productor y del Consumidor de Andrei Gomberg o el Seminario de Teoría de la Decisión de Levent Ulku me llevaron a estudiar precisamente a los procedimientos de decisión como objetos formales con los que se puede "jugar".

Así, me gustó mucho trabajar en estos temas porque verdaderamente son los temas que más disfrute en mi carrera. La moral, en clases de filosofía política. La inteligencia y la racionalidad formalizada en las clases de microeconomía y de elección pública.

A veces he sentido que este trabajo en realidad no contribuye nada. Varias de las ideas las he ido encontrando en distintos trabajos y en distintos investigadores.

A veces he sentido que propone mucho: (i) Formaliza las heurísticas. (ii) Propone una medida de complejidad de las mismas. (iii) Postula que la moral es una de esas heurísticas. (iv) Muestra como esa heurística puede ser el resultado de la evolución.

A veces siento también que me falta preparación técnica y madurez académica para que este trabajo pueda ser realmente un aporte. También a veces me parece que resulta ser una mezcolanza de ideas que no alcanza una coherencia plena y que no acaba siendo más que un ejemplo interesante pero poco general.

A veces siento que las ideas que contiene pueden ser suficientemente buenas como para que den frutos en otros trabajos y en otros tiempos. Quizá los temas aquí planteados constituyan una agenda de investigación para después...

Pero en fin, estoy satisfecho y contento con este trabajo.

Índice

1. Introducción

Este trabajo gira principalmente en torno a dos tesis: la idea de que los humanos siguen heurísticas y la idea de que la moral es una de esas heurísticas que tiene el papel de permitir la cooperación entre los humanos.

Una heurística es una regla de decisión o de elección que no es necesariamente óptima y que no es del todo racional aunque puede tener componentes racionales. Ejemplos de heurísticas son una regla de dedo, un juicio intuitivo, el sentido común, o una conjetura fundamentada. La clave de las heurísticas es que son más simples y requieren menos cálculos que otros procedimientos completamente racionales que por ejemplo comparan todas las alternativas tomando en cuenta toda la información. Así, las "heurísticas son procesos que ignoran información y permiten decisiones rápidas"[18]. El uso de heurísticas se contrapone al paradigma de la racionalidad que establece que los individuos siempre eligen la opción que maximiza su bienestar. Es evidente de la experiencia diaria el hecho de que los humanos no son completamente racionales y el hecho de que no siempre siguen procedimientos de maximización para tomar decisiones. Por eso, decir que los humanos siguen heurísticas no es algo nuevo. Lo que resulta interesante es proveer un marco analítico que ilustre por qué.

La tesis intenta contribuir con dicha ilustración usando como ejemplo al caso de la moral. Las herramientas analíticas que se utilizan son la teoría de juegos y la simulación evolutiva por computadora. La teoría de juegos es la herramienta clásica utilizada para estudiar formalmente situaciones de interacción entre agentes. En particular, existe una amplia literatura que estudia la cooperación en contextos evolutivos[6, 27]. La idea de esta literatura es mostrar que una estrategia o un comportamiento puede ser el resultado de un proceso evolutivo. El presente trabajo muestra precisamente que la moral, entendida estrechamente como un procedimiento de decisión heurístico, es el resultado de un proceso evolutivo. Esto es así porque la moral heurística es más flexible que otras reglas puramente mecánicas pero más sencilla que un procedimiento completamente racional.

Aquí no se pretende abarcar el concepto de moral con amplitud o profundidad. Más bien, se le entiende simplemente como un deseo que experimentan los humanos por actuar cooperativamente. La moral es una heurística pues direcciona la decisión actuando como una regla de dedo y evita varios cálculos utilitarios.

El trabajo procede de la siguiente manera: en el siguiente capítulo se hace una revisión de la literatura. Posteriormente en el capítulo tres se formalizan las heurísticas como procedimientos de decisión que consisten de dos pasos a los que llamamos mecánico/automático y racional/consciente. La idea es que cuando enfrentado con un problema de decisión, la parte automática primero reduce el conjunto a considerar y después la parte racional compara las alternativas utilizando una relación de preferencias subjetiva que puede variar dependiendo del problema de decisión en cuestión. Posteriormente se introduce una medida de complejidad para los distintos procedimientos de decisión que jugará un papel importante en el proceso evolutivo. La motivación de la medida de complejidad propuesta está relacionada con el grado de adaptación de la parte mecánica y con la capacidad cognitiva de la parte racional.

En el capítulo cuatro se plantea a la moral como una heurística particular que simultáneamente modifica la utilidad subjetiva y reduce la capacidad cognitiva requerida para tomar decisiones en situaciones complejas. Esto permite que agentes conscientes decidan cooperar en un Dilema del Prisionero repetido sin la necesidad de recurrir a estrategias más complicadas que toman en cuenta la naturaleza repetida del juego y las estrategias seguidas por los otros jugadores.

En el capítulo cinco se simula un torneo evolutivo del Dilema del Prisionero Repetido sujeto a choques estocásticos que es jugado por distintos procedimientos de decisión. Antes de proceder directamente con el torneo repetido, se considera el caso del Dilema del Prisionero de una sola etapa a manera de ilustración. Para el caso repetido, se hacen dos versiones de la simulación. En la primera versión del torneo no se toma en cuenta la complejidad de los procedimientos, como podría esperarse, el procedimiento completamente racional domina a la población después de pocas generaciones. En la segunda versión, la complejidad influye en la probabilidad que tienen los procedimientos de aparecer inicialmente en la población. La interpretación es que si bien la evolución es determinada por la selección natural, solo es a través de procesos de mutación gradual que los organismos pueden desarrollarse, entre más complejos sean, menor es la probabilidad de que aparezcan en un proceso aleatorio. En esta segunda versión, la moral heurística obtiene la mayor proporción de la población. Esto sucede cuando existen rivales tanto completamente mecánicos como Tit for Tat, como procedimientos completamente racionales que siempre siguen mejores respuestas.

En el último capítulo se discute brevemente y se hacen consideraciones finales.

Herbert Simon apuntó "la urgente necesidad de expandir el cuerpo de análisis establecido en las ciencias sociales, que está ampliamente relacionado con la racionalidad sustantiva, para abarcar aspectos procedimentales de la toma de decisiones"[33, p.506] Esta tesis va en esta dirección y departe de la literatura relacionada que estudia la evolución de la cooperación únicamente como un atributo de comportamiento, para estudiar la superestructura y los patrones motivacionales que están detrás de esas formas de comportamiento. Por lo mismo, las preguntas relevantes sobre los procedimientos de elección heurísticos en este trabajo no están relacionados con su caracterización como propiedades de las funciones de elección, como es común en la literatura, sino más bien con su optimalidad y su complejidad. Estos dos aspectos resultan relevantes pues están relacionados con las selección natural y con la mutación respectivamente.

Elaborando sobre la idea de Binmore[8, 9], la evolución es conducida por el Juego de la Vida, un Dilema del Prisionero repetido que está sujeto a choques aleatorios. Simultáneamente, sin embargo, los agentes juegan un Juego de la Moral que es modificado subjetivamente por la moral heurística. Al jugar en equilibrio en el Juego de la Moral, el equilibrio en el Juego de la Vida también es alcanzado. Esta interpretación puede ayudar a entender por qué la evolución llevó a que existan humanos que tienen sentimientos morales y a explicar por qué los humanos no maximizan conscientemente su probabilidad de sobrevivir. En su lugar, los humanos siguen heurísticas, tienen una capacidad cognitiva limitada y usan preferencias que varían en distintos contextos.

Este hecho está sostenido empíricamente y ha sido planteado por otros. Frans de Waal[14, 13] por ejemplo, ha estudiado por décadas a algunas especies de primates y concluye que los primates ya tienen motivaciones morales desarrolladas. De Waal sostiene precisamente que los comportamientos asumen autonomía motivacional en el sentido de que están desconectados de las finalidades últimas o de los criterios que los llevaron a ser favorecidos por la selección natural. La moral heurística no siempre actúa de manera óptima, pero es suficientemente exitosa como para ser favorecida por la selección natural y suficientemente simple como para ser el resultado de la evolución.

Así llegamos a la que podría ser la idea sustantiva del trabajo:

La moral, al igual que otros sentimientos y emociones, es un atajo heurístico a la racionalidad y es favorecida por un proceso evolutivo.

2. Revisión de Literatura

2.1. Heurísticas, Racionalidad y Complejidad

La racionalidad ha sido entendida de distintas maneras en las ciencias sociales modernas. La manera más ambiciosa de entenderla, que también es la más prevaleciente, asume que los humanos tienen preferencias egoístas y que toman las decisiones que maximizan esas preferencias. Este supuesto puede relajarse de varias formas. Puede no requerirse que los humanos tengan preferencias claras, o que esas preferencias sean egoístas, o que se tomen las decisiones con un procedimiento de maximización consciente, incluso McCubins y Thies[24] defienden que lo único importante del paradigma es que las decisiones sean decisiones razonadas.

Sin embargo, a pesar de la prevalencia del paradigma de la elección racional, la evidencia experimental y de mercado en todas las ciencias sociales apunta hacia violaciones de la racionalidad en cualquiera de sus formulaciones y relajaciones (véanse[3, 30] para recopilaciones). En particular, la reciente literatura que estudia la teoría de la decisión ha propuesto distintos procedimientos de racionalidad acotada y de desviaciones de la racionalidad.

En esta línea, el premio Nobel de Economía Daniel Kahneman en uno de sus libros más recientes, "Thinking Fast and Slow"[19], propone que los humanos funcionan con dos sistemas. Similar a lo propuesto en este trabajo, uno es racional maximizador y el otro es automático y sigue heurísticas entendidas como reglas de dedo. Es interesante que la evidencia empírica apunte hacia el uso de heurísticas tomando en cuenta la preeminencia que éstas han tenido en la ciencia de la computación y en áreas como la inteligencia artificial. Lo importante de las reglas de dedo es que ni siquiera tienen que ser decisiones razonadas.

Gerd Gigerenzer ha dedicado la mayor parte de su investigación principalmente al estudio de las heurísticas. Su visión se desvía del paradigma de la racionalidad en tanto que abandona incluso la idea de que existe necesariamente una desventaja de las heurísticas en términos de precisión. Para Gigerenzer, en muchos casos no existe una lucha o un balance entre mayor precisión y mayor costo por mayor cantidad de cálculo. Él argumenta y ejemplifica cómo menos esfuerzo y menos información pueden llevar a mayor precisión con menor costo. Véase [18] para una recopilación del trabajo de su grupo y de otros relacionados.

Este trabajo hace una primera potencial contribución al formalizar el concepto de heurísticas en el contexto de procedimientos de elección.

Similar a la idea que subyace a la manera en que se formalizan las heurísticas en este trabajo, está la idea de Robert Aumann de "Racionalidad de Regla"[4] que postula que los humanos no maximizan su utilidad en cada caso, sino que maximizan sobre reglas o modos de comportamiento generales que luego implementan en cada situación. Estas reglas funcionan a través de preferencias subjetivas o de deseos como el hambre, el deseo sexual, el deseo de ser estimado y otros que no consisten directamente en el deseo de maximizar la probabilidad de supervivencia.

Es claro que es esencial y razón de ser en el concepto de heurística la simplicidad. La formalización de heurísticas que se propone en este trabajo permite que se introduzca una medida de complejidad que resulta razonable. El estudio de la complejidad en la literatura es amplia en la teoría de juegos y en la ciencia de la computación pero escasa fuera de ellas. Ni siquiera existe una medida general de complejidad para funciones aceptada en las matemáticas. Futia[17], por ejemplo, propone una medida de complejidad para las reglas de decisión pero no tiene carácter muy general y es complicada pues requiere de topología algebraica y depende de la estructura topológica del problema.

En la teoría de juegos, la medida de complejidad más común está relacionada con el número de estados contenidos en el autómata de tamaño mínimo que puede representar a una estrategia[1, 31]. Banks y Sundaram[7] discuten ésta y otras posibles medidas de complejidad. Si bien los resultados principales de este trabajo no cambian si se utiliza la medida estándar de complejidad para la parte de las estrategias en la teoría de juegos, la medida que en su lugar se propone, se puede generalizar a problemas en las que los agentes no solo siguen estrategias mecánicas sino procedimientos completos de decisión.

El presente trabajo no solo diverge de la literatura en la medida de complejidad que le asigna a los distintos procesos de decisión sino también en la manera en la que la complejidad es relevante. Rubinstein y Abreu[1] analizan juegos repetidos en lo que los jugadores buscan minimizar la complejidad de sus estrategias además de maximizar sus pagos. Similarmente, Binmore y Samuelson[10] y Rubinstein[31] estudian meta-jugadores con preferencias lexicográficas que en primer lugar maximizan sus pagos y en segundo lugar minimizan el número de estados en los autómatas que eligen para jugar. Neyman[26] estudia juegos donde la cooperación surge cuando la complejidad de las estrategias que los jugadores utilizan está acotada de inicio. El presente trabajo se diferencia de los trabajos mencionados en tanto que la complejidad afecta solamente en el proceso evolutivo disminuyendo la probabilidad de que los procedimientos de elección aparezcan inicialmente en la competencia. También difiere en tanto que se analizan los procesos de decisión completos en vez de puramente las estrategias.

2.2. Cooperación, Moral y Teoría de Juegos

El estudio de la cooperación ha sido de los temas más recurrentes en la teoría de juegos, desde el estudio del Dilema del Prisionero hasta los estudios contemporáneos de la evolución de la reciprocidad.

Como es sabido, en el Dilema del Prisionero, el único equilibrio de Nash es también el único punto que no es óptimo de Pareto. Por eso la solución clásica al dilema y la explicación de por qué puede haber cooperación está ligada a los juegos repetidos. Sin embargo, en un juego repetido de etapas finitas, el equilibrio tampoco es cooperativo. La solución cooperativa solo es un equilibrio cuando las etapas son infinitas. El "Teorema Popular"[5] muestra que en cualquier juego repetido, para cualquier perfil de pagos k que pertenezca al área individualmente racional, existe un valor $\underline{\delta} < 1$ tal que para todo factor de descuento

$\delta \geq \underline{\delta}$, k puede ser arbitrariamente aproximado por un equilibrio perfecto en los subjuegos. En esta tesis se propone una forma en la que los comportamientos cooperativos pueden ser alcanzados sin recurrir ni a estrategias muy complejas ni al conocimiento de algunas cuestiones del juego como su naturaleza repetida o como a la idea del conocimiento común.

La idea de estudiar situaciones donde los agentes no son completamente racionales no es ajena a la literatura. Axelrod en 1984[6] volvió famosa la estrategia Tit for Tat que empieza cooperando en la primera etapa y continúa cooperando siempre que el rival también lo haga. Esta estrategia fue la ganadora en un torneo en el que precisamente no participaban agentes racionales sino distintas estrategias mecánicas.

Una de las más importantes explicaciones de la cooperación que no se desvía de la noción de equilibrio es la de Kreps, Milgrom, Roberts y Wilson[22] quienes son conocidos como "The gang of four". Ellos muestran que la cooperación puede ser explicada en un dilema del prisionero repetido finitamente con tal de que exista mínima incertidumbre sobre la racionalidad de los otros jugadores. La idea es que con que una pequeña parte de la población siga la estrategia Tit-for-Tat y esto sea conocido por el resto de los jugadores, en equilibrio todos terminarán siguiendo TFT por un número arbitrariamente grande de etapas.

Por otro lado, Neyman[26] explica la cooperación manteniendo el supuesto de información completa pero acotando la complejidad de las estrategias que pueden utilizar los jugadores. En particular, muestra que si los jugadores están restringidos a usar un autómata finito de tamaño l, entonces para un número suficientemente largo de repeticiones, existe un equilibrio con un pago similar al cooperativo.

Otra parte de la literatura estudia la emergencia de la cooperación y de la reciprocidad cuando existe más información. Nowak[27], por ejemplo, estudia como puede surgir la cooperación en juegos de más de dos personas cuando existe información sobre cómo se han comportado los agentes contra otros jugadores. Nowak muestra cómo comportamientos que castigan a los que no cooperan e inclusive que castigan a los que no castigan a los que no cooperan pueden ser favorecidos por la selección natural.

Por su parte, R. Frank[16] propone que las emociones en los humanos sirven como artificios que permiten comprometerse a acciones que están fuera de la senda de equilibrio y permiten, por ejemplo, la cooperación. K. Binmore[9] critica esta postura pues argumenta que cualquier desviación del equilibrio es insostenible pues la misma definición de equilibrio implica que siempre habrá un agente que puede adaptarse actuando de acuerdo a la mejor respuesta y que eventualmente direccionaría de vuelta hacia un equilibrio aunque éste acabe siendo más perjudicial para todos los agentes.

Como se ha dicho, este trabajo busca explicar la cooperación alcanzada por agentes que no son completamente racionales a través de desvíos de las motivaciones subjetivas de los agentes. Como lo plantea Trivers[34], los objetivos subjetivos y los motivos inmediatos se convierten en los medios para alcanzar los fines de largo plazo aunque son distintos. La idea de la independencia de las utilidades subjetivas y de los pagos materiales está sustentada empíricamente. El biólogo Frans de Waal sostiene que "una vez que evoluciona, el comportamiento asume autonomía motivacional, es decir, lo que motiva al comportamiento está desconectado de sus finalidades últimas"[13]. De Waal argumenta que la empatía cumple con el rol motivacional que posibilita la cooperación. Esta perspectiva no solo explica por qué existe la cooperación sino que responde al punto hecho por el politólogo Alexander McKenzie[25] y otros[12, 21] que argumentan que no solo es importante estudiar a la cooperación sino también estudiar a su superestructura y a los patrones motivacionales que están detrás de esos comportamientos. La moral heurística que aquí se propone funciona modificando la utilidad subjetiva del agente y responde precisamente a la parte motivacional.

Existen al menos dos grandes propuestas en la literatura analítica que hablan de desviaciones de los pagos materiales. La primera es la literatura de "other-regarding preferences" que asume que la utilidad de los agentes no depende solamente de los pagos materiales individuales sino de los pagos materiales de los otros agentes. En dicha propuesta, al igual que en el presente trabajo, la utilidad del agente es una combinación lineal del pago material y de algún otro pago. Véase el trabajo de Fehr[15] para una revisión general. La segunda propuesta es la que inició Rabin[29] tomando la idea de los juegos psicológicos, en ésta, modela a las emociones explícitamente y asume que los individuos toman decisiones no solo observando los pagos materiales sino tomando en cuenta las creencias que tienen sobre las intenciones de los otros jugadores.

En un trabajo relacionado al presente, Alger y Weibull[2] estudian la evolución de las preferencias morales en condiciones particulares. El modelo aquí presentado difiere de ésta y de otra literatura que estudia la evolución de preferencias subjetivas que se desvían de los pagos materiales[32] en tanto que los objetos de la evolución son procedimientos de decisión (incluyendo procesos no maximizadores) en vez de preferencias o estrategias únicamente.

Finalmente cabe referirse al amplio trabajo de Kenneth Binmore[8, 9] quien también estudia a la cooperación humana desde la teoría de juegos. Para Binmore, los humanos en el Juego de la Moral pueden coordinarse para llegar a un equilibrio cooperativo a través de la empatía solamente si se llega a un equilibrio en el Juego de la Vida material que lo subyace. Puede pensarse que el presente trabajo construye sobre la idea anterior y permite una interpretación en la que en largo plazo, la selección natural elige el tipo de procedimientos de decisión que siguen los agentes. En el mediano plazo, la evolución de la moral influencia en cómo se forman las preferencias subjetivas, y finalmente en el corto plazo los individuos interactuán, deciden y en ciertos casos, cooperan.

3. Heurísticas

Sea $X = \mathcal{Z} \times W$ el conjunto de situaciones posibles en el mundo. Cada situación consiste de una alternativa z que puede ser elegida y de algunos factores exógenos w. Los agentes enfrentan problemas de decisión $Zw \in \mathcal{P}(\mathcal{Z}) \times W$ que consisten de un subconjunto $Z \in \mathcal{P}(\mathcal{Z})$, donde $\mathcal{P}(\mathcal{Z})$ es el conjunto potencia de $\mathcal{Z}$ y de w, un elemento fijo de W.

Una función de elección es un mapeo $c : \mathcal{P}(\mathcal{Z}) \times W \to \mathcal{Z}$ que asigna a todos los problemas Zw un único elemento $c(Zw) \in \mathcal{Z}$.

Un procedimiento de elección es un algoritmo o un conjunto de reglas que especifica como determinar $c(Zw)$ para todo Zw.

Por ejemplo, el procedimiento de elección racional estándar consiste en la siguiente regla única: Sea $\succeq$ una relación binaria completa y ordenada sobre todos los elementos de $\mathcal{Z}$. Entonces para todo Zw sea $c(Zw) = x \in Z : x \succeq y \; para \; todo \; y \in Z$.

Sea $(\succeq)$ el conjunto de relaciones binarias ordenadas sobre $\mathcal{Z}$.

Definición 1 Un procedimiento de elección es una *heurística* si existe una función $f : \mathcal{P}(\mathcal{Z}) \times W \to \mathcal{P}(\mathcal{Z})$, y una función $o : \mathcal{P}(\mathcal{Z}) \times W \to (\succeq)$ tal que el procedimiento puede ser expresado de la siguiente manera:
1. Para todo Zw considera solamente al conjunto $g(Zw) = f(Zw) \cap Zw$ y el orden $\succeq_{Zw} = o(Zw)$[1]
2. Luego, sea $c(Zw) = x \in g(Zw) : x \succeq_{Zw} y \; para \, todo \; y \in g(Zw)$

Esta definición es muy general, cualquier función de elección puede ser racionalizada por una heurística (simplemente tomando $f(Zw) = c(Zw)$) y la mayoría de los procedimientos de elección que se han analizado en la literatura son casos particulares de heurísticas (véanse por ejemplo[11, 23]). Sin embargo, esta definición es interesante porque permite la siguiente interpretación: el primer paso de la heurística es una regla de dedo automática que reduce el conjunto en consideración. La segunda parte consiste en una maximización consciente que utiliza una relación de preferencias subjetiva para comparar las alternativas.

Esta manera de interpretar ambos pasos de las heurísticas permite describir agentes completamente racionales, agentes completamente mecánicos y agentes que son una mezcla de ambos. Así, un sistema consciente evalúa su ambiente y elige; el homo-economicus por ejemplo, simplemente toma $f(Zw) = \mathcal{Z} \; \forall Zw$ y elige el máximo para alguna $\succeq$ fija. Por el contrario, un sistema completamente mecánico no deja ningún papel al segundo paso de la heurística y simplemente reacciona automática y distintamente a distintas situaciones, esto sucede cuando $f(Zw) = c(Zw) \; \forall Zw$.[2]

[1] Solo consideraremos heurísticas para las que la intersección $f(Zw) \cap Zw$ es no vacía para todo Zw.

[2] Cabe hacer notar que distintas heurísticas pueden producir las mismas elecciones. En particular, las elecciones óptimas respecto a un orden de pagos materiales verdaderos $\succeq_m$ pueden venir de un procedimiento completamente racional que utiliza $\succeq_m$ para rankear a las alternativas o pueden venir de un procedimiento completamente automático que está perfectamente adaptado y que para cada Zw específica $f(Zw) = max(Zw, \succeq_m)$.

Más importantemente, la idea de este trabajo es precisamente que los humanos pueden ser entendidos como una mezcla de ambos pasos. Los humanos se comportan en parte mecánicamente utilizando reglas de dedo y en parte racionalmente comparando las posibles opciones y eligiendo aquella que mejor cumple con ciertos objetivos que varían dependiendo de las circunstancias.

En primera instancia, resulta peculiar que la evolución, en vez de dirigir hacia agentes que cada vez con mayor capacidad cognitiva maximicen su probabilidad de sobrevivir (que por definición determina a la selección natural), haya dirigido hacia agentes que siguen heurísticas y que tienen múltiples preferencias subjetivas que varían dependiendo de la situación. Para poder explicar esto, a continuación introducimos una medida de complejidad para los procedimientos de elección.

3.1. Complejidad

Definir la complejidad no es algo necesariamente sencillo pues algo puede ser complejo por varias cosas distintas. Aquí proponemos una medida que resulta razonable y que intenta capturar al menos algunos de los elementos de la complejidad de un procedimiento. De entrada, parece razonable pensar que la complejidad de las distintas partes de las heurísticas son independientes. La primera parte está relacionada con el nivel de adaptación que permite distinguir distintos estados y la segunda parte con la capacidad cognitiva consciente que se utiliza para comparar directamente a las alternativas.

Para la parte mecánica, la consideramos más compleja mientras más finamente sea capaz de distinguir distintas situaciones y reaccionar diferentemente a ellas, la medida de complejidad entonces es la cardinalidad $|\cdot|$ de la imagen de $f \times o$ que refleja en cuantos "estados" es partido el dominio de $f \times o$, es decir, el espacio de los problemas de decisión. La complejidad de la parte consciente es el número máximo de alternativas que el agente es capaz de comparar:

- Complejidad Mecánica:
  $|\{Y \in \mathcal{P}(\mathcal{Z}) \times (\succeq) : Y = f(Zw) \times o(Zw) \, para \, algun \, Zw \in \mathcal{P}(\mathcal{Z}) \times W\}|$
- Complejidad Racional: El número máximo de elementos que el agente tiene que comparar, $max|f(Zw) \cap Zw|$
- Complejidad Total=Complejidad Mecánica + Complejidad Racional

Como ejemplo, considérese un programa de computadora que juega ajedrez. Los programas actualmente utilizan heurísticas precisamente como las nuestras. Primero particionan el dominio en estados. Después cada estado indica las alternativas que se deben de considerar y el criterio que se debe utilizar para evaluarlas. Así por ejemplo, los estados pueden ser "rey en peligro", "inicio del juego" y "posición ventajosa", las alternativas a considerarse pueden ser respectivamente "posibles movimientos del rey", "posibles movimientos de peones" y "posibles movimientos ofensivos de las piezas medianas", y los criterios pueden ser "seguridad del rey", "control del centro", "número de piezas del rival".

En la ciencia de la computación, un programa es más complejo mientras más tiempo-computadora requiera para tomar las decisiones. Y el tiempo-computadora depende precisamente del número de estados que debe de distinguir y del número de alternativas que debe de considerar. Justamente un programa eficiente es aquel que no considera tantas alternativas y que no contiene tantos estados de modo que utiliza una combinación de ambas partes para reducir su complejidad. Por ende, nuestra medida de complejidad al menos está relacionada con la complejidad computacional de los procedimientos. Otros aspectos relacionados con la complejidad, como la forma en la que se realiza la partición en estados, o como el trabajo que toma saber a qué estado pertence un problema, o simplemete la complejidad que puede implicar analizar una alternativa, no son capturados por nuestra definición.

4. Teoría de Juegos y la Moral Heurística

El concepto central en la teoría de juegos es el concepto de equilibrio. Se considera que los agentes están en equilibrio si se cumple que cada jugador está siguiendo la mejor respuesta posible ante el perfil de estrategias de los oponentes. El equilibrio es pues un criterio de optimalidad simultánea. A nosotros nos interesa estudiar situaciones donde las estrategias seguidas por los jugadores no son necesariamente óptimas. Considérese el siguiente ejemplo para ver cómo la moral heurística puede funcionar para alcanzar la cooperación.

Considérese un Dilema del Prisionero repetido indefinidamente: dos jugadores que pueden elegir entre cooperar y no cooperar en cada etapa del juego. Sea $A_i = \{C, NC\}$, $A = \times_{i\in\{i,j\}} A_i$, y $H = \cup_{t=0}^{t=\infty} A^t$ el conjunto de historias. Sea como es costumbre $U(h) = (1-\delta)\sum_{t=0}^{\infty} \delta^t u_i(a^t)$ la utilidad normalizada para una historia terminal donde $\delta \in (0,1)$ es el factor de descuento y $a^t \in A^t$ es el perfil de acciones para la etapa t. La matriz de pagos para el juego estratégico es:

	Cooperar	No Cooperar
Cooperar	3, 3	0, 5
No Cooperar	5, 0	1, 1

Sabemos del teorema popular[5] que para cualquier perfil de pagos k que pertenezca al área individualmente racional, existe un valor $\underline{\delta} < 1$ tal que para todo factor de descuento $\delta \geq \underline{\delta}$, k puede ser arbitrariamente aproximado por un equilibrio perfecto en los subjuegos. En particular, el equilibrio cooperativo puede ser alcanzado cuando ambos jugadores siguen la siguiente estrategia sombría: cooperar en el primer periodo y en cada periodo siempre que ambos jugadores hayan cooperado en todas las etapas anteriores, no cooperar en cualquier otro caso. [3] En este caso la acción de cooperar es racionalmente conveniente solo si el agente conoce la naturaleza repetida del juego y si sabe que el otro agente lo castigará en el futuro en caso de no cooperar.

Alternativamente, el pago del equilibrio cooperativo puede ser alcanzado por agentes que toman decisiones siguiendo el siguiente procedimiento de decisión moral: ignorar la naturaleza repetida del juego y las posibles movidas futuras de los jugadores, elegir la acción que maximiza la utilidad de la etapa presente tomando en cuenta lo que el otro jugador juega pero usando una utilidad subjetiva para decidir:

$$U = (1-\alpha)U_e + \alpha U_m$$

donde U_e es el verdadero pago material, U_m es la desviación moral que toma valor 1 si ambos jugadores cooperan y 0 en cualquier otro caso, y α es un parámetro que captura cuánto la sociedad valora la cooperación. La matriz de pagos subjetiva ahora es:

[3] El pago de seguir la estrategia sombría cuando enfrentado con otra estrategia sombría es $(1-\delta)3 + \delta 3$, el pago de la mejor desviación es $(1-\delta)5 + \delta 1$. Esto implica que la cooperación puede ser sostenida en un equilibrio perfecto en los subjuegos mientras $\delta \geq 1/2$.

	Cooperar	No Cooperar
Cooperar	$(1-\alpha)3+\alpha U_m$, $(1-\alpha)3+\alpha U_m$	$(1-\alpha)0+\alpha U_m$, $(1-\alpha)5$
No Cooperar	$(1-\alpha)5$, $0+\alpha U_m$	$(1-\alpha)1$, $(1-\alpha)1$

Mientras $(1-\alpha)3+\alpha 1 \geq (1-\alpha)5$, *o* $\alpha \geq 2/3$, el estado cooperativo se sostiene. En otras palabras, la cooperación puede ser sostenida mientras la sociedad valore la cooperación lo suficientemente. La idea es que un procedimiento heurístico que modifica los pagos materiales y reduce la complejidad del problema de decisión puede ser suficientemente exitoso y suficientemente simple como para mantener pagos altos y constituir un equilibrio en el juego material.

Existen dos cuestiones importantes relacionadas con el ejemplo anterior. En primer lugar, el procedimiento de decisión moral introducido es una heurística. Para ver esto traduzcamos las heurísticas a un escenario de teoría de juegos.

Sea A_i el conjunto de acciones posibles para un agente en un juego estratégico, sea $A^r = \times_{i\in\{N\}} A_i^r$ el perfil de acciones para la etapa r del juego repetido y sea $H = \cup_{r=0}^{r=\infty} A^r$ el conjunto de historias.

Sea R el conjunto de procedimientos de decisión y sea P el conjunto de matrices de pagos. $W = H \times R \times P$ es el conjunto de los aspectos exógenos relevantes del mundo; la historia, el procedimiento de decisión del oponente y la matriz de pagos.

Como antes, sea $X = \mathcal{Z} \times W$ el conjunto de situaciones. Los agentes enfrentan simultáneamente problemas que consisten en elegir un elemento z cuando enfrentados con $Z \times w = Zw \subseteq \mathcal{P}(\mathcal{Z}) \times W$.

En nuestro trabajo, las acciones se derivan de procedimientos de elección heurísticos que consisten de una tupla $< f(\cdot), (\succeq_{f(Zw)}) >$ como definida arriba. Por simplificación de la notación, diremos que los agentes eligen una alternativa $z \in \{A_i\}$ cuando se enfrentan con el problema $w \in h \times r \times p$ y usaremos $f(w)$.

Aquí es pertinente hacer notar que el conjunto de alternativas puede consistir en distintos objetos dependiendo de cómo el procedimiento interprete a las distintas acciones.[4] En el contexto de juegos repetidos, algunos procedimientos podrían distinguir y elegir solamente entre acciones de una sola etapa, mientras que otros podrían considerar el futuro y comparar los pagos que les dan estrategias completas.

Ahora podemos definir a la heurística de nuestro ejemplo a la cual llamamos HumanoMoral:

- $f(w) = \{C, NC\} \forall w$
- $(\succeq_{f(w)})$ es representada por la utilidad subjetiva modificada $U = (1-\alpha)U_e + \alpha U_m$ definidas en el ejemplo.

[4]Una acción y sus consecuencias pueden ser entendidas de varias maneras distintas. Por ejemplo, uno puede interpretar un mismo acto como el mover un dedo, el apretar un botón, el lanzar una bomba, o el realizar un movimiento estratégico particular en una guerra. Lo importante es que la función $f()$ especifica las acciones a comparar.

El HumanoMoral distingue si el oponente coopera o no coopera (observándolo de r) y compara las dos posibles acciones utilizando los pagos materiales y la modificación subjetiva. La complejidad de la heurística toma valor 4 pues distingue dos posibles "estados" en la primera parte (dependiendo de la acción del rival) y compara dos posibles acciones en la segunda (Cooperar y No Cooperar).

La segunda cuestión interesante es que el ejemplo diverge de la teoría de juegos clásica en tanto que mientras que en ésta se estudian estrategias, en nuestro ejemplo se habla de procesos de decisión. La diferencia entre estos dos consiste en que la estrategia es sencillamente una regla que determina la acción dado el estado del juego mientras que una regla de decisión especifica el procedimiento que se sigue para llegar a la acción.

Se puede inferir una estrategia de cualquier procedimiento de decisión y para toda estrategia existe al menos un procedimiento de decisión que la induce. Más aún, toda estrategia puede verse como una heurística en la que solo es relevante la parte mecánica que especifica la acción a seguir para cada estado y que no deja ningún papel a la parte consciente. Esta manera de entenderlo permite estudiar la complejidad y la racionalidad de los procedimientos de decisión en situaciones de juegos estratégicos.

La racionalidad en la teoría de juegos solo entra en el concepto de equilibrio, no en la definición de las estrategias. Así, usualmente las estrategias relevantes son "racionales" no por el procedimiento de maximización que siguen sino por el criterio de optimalidad que cumplen en equilibrio. Pero cuando la complejidad influye, la forma en la que las estrategias son implementadas tiene implicaciones.

Considero que la moral, no solo entendida como un comportamiento cooperativo sino como una desviación de las preferencias en favor de la cooperación recíproca, puede llevar a acciones cooperativas sin la necesidad de recurrir a objetos más complejos como a las estrategias sombrías, al conocimiento común, o al conocimiento de factores del juego como el hecho de que sea repetido. Si bien el teorema popular muestra que los equilibrios cooperativos pueden ser sostenidos, las heurísticas pueden ser la respuesta a cómo de hecho son implementados. Para mostrar esto simulamos una competencia evolutiva en el contexto del Dilema del Prisionero donde los jugadores siguen distintos procedimientos de decisión.

5. Torneos Evolutivos

La teoría de juegos evolutiva ha puesto un énfasis en la selección natural al punto de que consideraciones sobre la mutación normalmente no son tomadas en cuenta. Sin embargo, es razonable pensar que algo complejo tiene más dificultades para ser el resultado de un proceso evolutivo[35, 28]. Después de todo, como la selección natural favorece a los genes que generan fenotipos que maximizan la probabilidad de sobrevivir, no hay ninguna razón a priori por la que la evolución no habría seleccionado entes con una capacidad cognitiva muy grande a las que solo les interese maximizar su probabilidad de sobrevivir.

En la subsección 5.2 se simulan dos torneos evolutivos en el contexto del Dilema del Prisionero Repetido jugado por procedimientos de elección para mostrar que cuando la complejidad importa, las heurísticas pueden ser favorecidas sobre procedimientos más complejos. Antes, a manera de introducción, en la subsección 5.1 se considera el caso del Dilema del Prisionero de una sola étapa.

Un torneo evolutivo consiste de una población que va cambiando por generaciones. En cada generación, todos los procedimientos participan en un juego contra todos los miembros de la población, los pagos materiales obtenidos determinan los porcentajes de la población que componen a la siguiente generación. Esto se repite para T generaciones y se observa cómo evoluciona la población (véase el apéndice para los detalles).

5.1. Juego de una sola vez

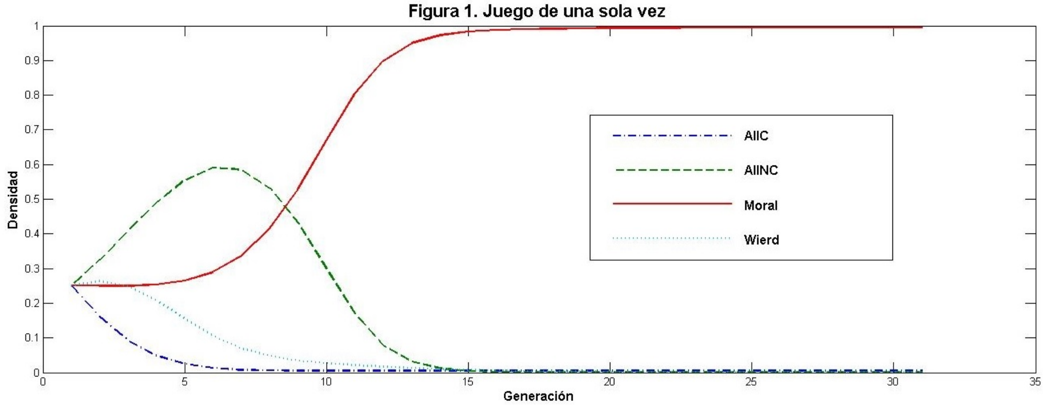
5.1.1. Torneo determinístico

Antes de considerar el caso del juego indefinidamente repetido, considerese un dilema del prisionero de una sola vez con matriz de pagos:

	Cooperar	No Cooperar
Cooperar	3, 3	0, 5
No Cooperar	5, 0	1, 1

Como siempre, el agente tiene que elegir un elemento de $\{C, NC\}$ y la información relevante del mundo solo es la acción del rival. Existen cuatro posibles tipos. Aquel que siempre coopera (AllC), aquel que nunca coopera (AllNC), aquel que coopera solo si su oponente coopera (Moral) y aquel coopera solo si su oponente no coopera (Wierd). El torneo evolutivo es determinístico y tiene el siguiente resultado.

Figura 1. Juego de una sola vez



Como es de esperarse, el agente "inteligente" que utiliza la información de la acción del otro oponente domina la población.

5.1.2. Torneo estocástico

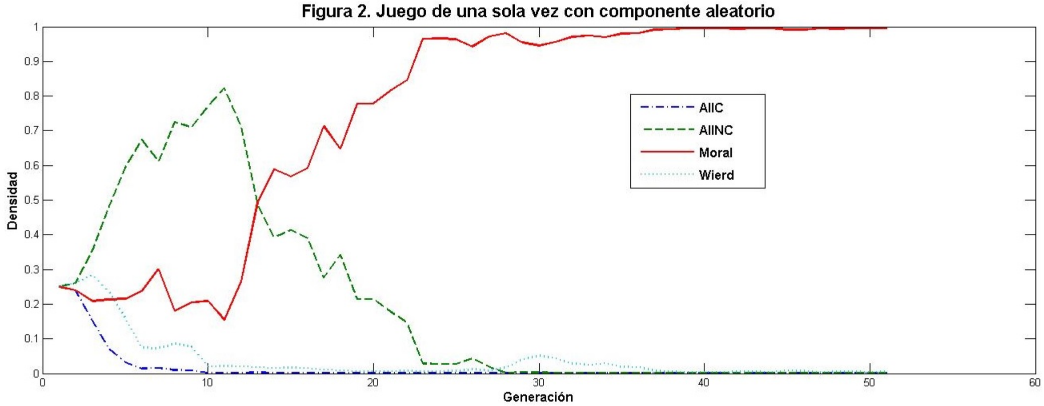
Ahora introducimos un elemento estocástico a la matriz de pagos de modo que la información relevante no solo es la acción del rival sino también la matriz de pagos que varía con cada generación:

	Cooperar	No Cooperar
Cooperar	a_t=3+ϵ_{1t}, a_t=3+ϵ_{1t}	b_t=0+ϵ_{2t}, c_t=5+ϵ_{3t}
No Cooperar	c_t=5+ϵ_{3t}, b_t=0+ϵ_{5t}	d_t=1+ϵ_{4t}, d_t=1+ϵ_{4t}

donde ϵ_{1t},ϵ_{2t},ϵ_{3t},ϵ_{4t} son i.i.d. con distribución $N(0,1)\,\forall t$

Ahora consideramos a los 16 posibles competidores que toman decisiones dependiendo de la acción del oponente y de la relación entre los dos pagos dada la acción del oponente. Así, los competidores tienen una función de elección $c : \{C\,, NC\} \times \{(a > c), (c \geq a)\} \times \{(b > d), (d \geq b)\} \rightarrow \{C,\ NC\}$. En este caso la simulación es estocástica pero el resultado habitual sigue siendo:

Figura 2. Juego de una sola vez con componente aleatorio



Donde AllC, AllNC, Moral y Wierd son las agregaciones de los 4 tipos que juegan igual cuando $c > a$ y $d > b$. Las composiciones intra-agregacion son demasiado caóticas como para presentar un resultado general.

5.2. Juego indefinidamente repetido

Ahora se introduce la repetición del juego y se realizan dos torneos. En el primero se introduce solamente la naturaleza repetida del juego mientras que en el segundo se toma en cuenta adicionalmente la complejidad de los procedimientos. Cuando se introduce la complejidad, la forma en la que se toman las decisiones, y no solo la decisón final, importa; y por ende es importante especificar la $f()$ y la relación de preferencias que se utiliza.

El juego estratégico a repetirse consiste como siempre de dos jugadores con dos posibles acciones, Cooperar y No Cooperar, y con la matriz de pagos materiales sujeta a choques aleatorios simétricos del caso anterior:

	Cooperar	No Cooperar
Cooperar	$3+\epsilon_{1t}$, $3+\epsilon_{1t}$	$0+\epsilon_{2t}$, $5+\epsilon_{3t}$
No Cooperar	$5+\epsilon_{3t}$, $0+\epsilon_{5t}$	$1+\epsilon_{4t}$, $1+\epsilon_{4t}$

donde ϵ_{1t},ϵ_{2t},ϵ_{3t},ϵ_{4t} son i.i.d. con distribución $N(0,1)\,\forall t$

Los pagos totales del juego son las sumas descontadas de los pagos para todas las repeticiones: $U(h) = (1-\delta)\sum_{t=0}^{50} \delta^t u_i(a^t)$.[5]

5.2.1. Competidores

Como el juego es repetido, existen una infinidad de competidores posibles. Nosotros nos restringimos a considerar solo a 10 procedimientos de elección como competidores: 7 estrategias estándares que son completamente mecánicas (se utilizan las estrategias que estaban inscritas por default en la competición del Dilema del Prisionero Iterado realizada en la "Computational Intelligence and Games Conference" en el 2005[20]), 2 procedimientos heurísticos y 1 procedimiento completamente racional:

1. Aleatorio: Ausencia de procedimiento, complejidad=0[6]

2. SiempreCooperar: $f(w) = \{C\}\,\forall w$
   Completamente Mecánico, complejidad=1

3. NuncaCooperar: $f(w) = \{NC\}\,\forall w$
   Completamente Mecánico, complejidad=1

[5] Los pagos son calculados para 50 repeticiones pero todos los procedimientos juegan como si fuera un juego indefinidamente repetido.

[6] Para fines de la simulación, una jugada aleatoria significa que el procedimiento no requirió de adaptación por lo que no incrementa la complejidad.

4. TitForTat (TFT):
$$f(w) = \begin{cases} \{NC\} & si\, la\, última\, jugada\, del\, oponente\, fue\, NC \\ \{C\} & En\, cualquier\, otro\, caso \end{cases}$$
Completamente Mecánico, complejidad=2

5. TitForTwoTats (TFTT):
$$f(w) = \begin{cases} \{NC\} & si\, las\, últimas\, 2\, movidas\, del\, oponente\, fueron\, NC \\ \{C\} & En\, cualquier\, otro\, caso \end{cases}$$
Completamente Mecánico, complejidad=2

6. SuspiciousTitforTat (STFT):
$$f(w) = \begin{cases} \{C\} & si\, la\, última\, jugada\, del\, oponente\, fue\, C \\ \{NC\} & En\, cualquier\, otro\, caso \end{cases}$$
Completamente Mecánico, complejidad=2

7. Pavlov:
$$f(w) = \begin{cases} Aleatorio & si\, es\, la\, primera\, movida \\ \{Repetir\, última\, jugada\} & si\, los\, últimos\, pagos\, fueron\, mayores\, a\, 3 \\ \{Jugada\, opuesta\} & En\, cualquier\, otro\, caso \end{cases}$$
Completamente Mecánico, complejidad=2

8. SimpleRational: $f(w) = \{C, NC\}\, \forall w$. Distingue si el oponente coopera o no coopera (observándolo de r) y compara las dos posibles acciones utilizando la matriz de pagos materiales.
Procedimiento Heurístico, complejidad=2+2

9. HumanoMoral: $f(w) = \{C, NC\}\, \forall w$. Igual que SimpleRational pero la preferencia utilizada para maximizar es representada por la utilidad subjetiva modificada:
$$U = (1-\alpha)U_e + \alpha U_m$$
donde U_e es el verdadero pago material, U_m es la desviación moral que toma valor 1 si ambos jugadores cooperan y 0 en cualquier otro caso, y α es un parámetro que captura cuanto la sociedad valora la cooperación.
Procedimiento Heurístico, complejidad=2+2

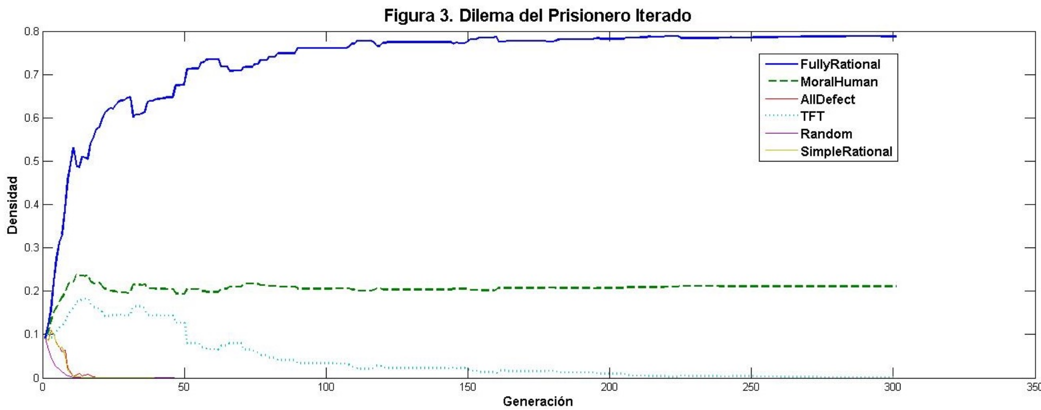
10. FullyRational: $f(w) = \{Todas\, las\, estrategias\}$. Sigue la mejor respuesta de acuerdo a los pagos materiales ante cualquier oponente enfrentado tomando en cuenta el hecho de que la naturaleza del juego es repetida.
Completamente Racional, complejidad=alta[7]

[7] La complejidad es infinita pues compara todas las posibles estrategias pero la acotamos para fines de la simulación.

5.2.2. Resultados

1. La primera simulación es como en otros torneos de la literatura donde cada competidor empieza con la misma proporción de la población y la complejidad no es tomada en cuenta. Como es esperado, FullyRational domina la población. No se convierte en la única estrategia pues HumanoMoral y FullyRational juegan idénticamente entre ellas.[8]

Resultados habituales de la simulación:



2. En la segunda simulación, la complejidad es tomada en cuenta. La complejidad afecta a los procedimientos de elección en tanto que afecta la probabilidad que tienen de aparecer inicialmente en la población. La simulación empieza con una población compuesta únicamente por Aleatorio. En cada generación, todos los procedimientos tienen una probabilidad de aparecer y obtener un 0.1 % de la población. Esta probabilidad es $1/2^c$, donde c es la complejidad del procedimiento, excepto por FullyRational a la que le imponemos una probabilidad acotada de $1/100$.[9]

El resultado habitual de la simulación es que el HumanoMoral tiene la mayor proporción de la población. Esto sucede porque antes de que FullyRational evolucione, el HumanoMoral toma la mayor parte de la población, para cuando FullyRational aparece, solo equipara al HumanoMoral en pagos.[10]

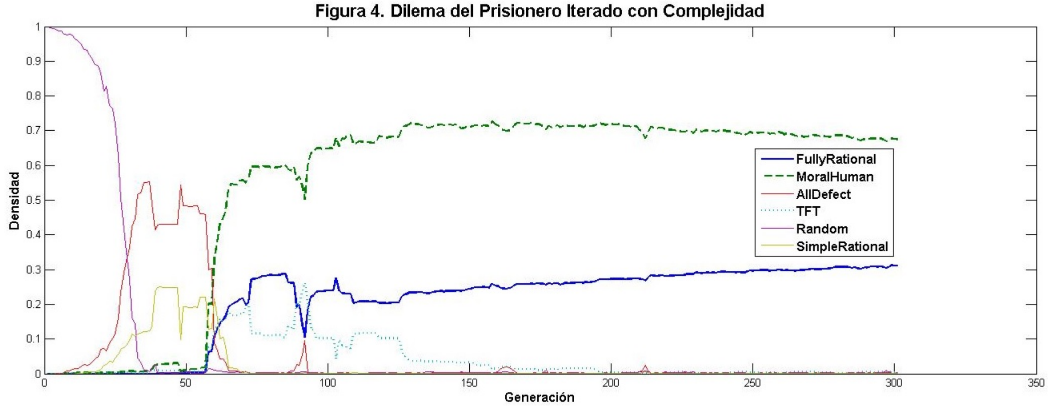
[8]Los siguientes parámetros fueron utilizados, $\delta = .95$, $T = 300$ y $\alpha = 0.75$. Los pagos son calculados para 50 repeticiones pero todos los procedimientos juegan como si fuera un juego indefinidamente repetido.

[9]Este marco no es muy robusto en el sentido de que muchas cosas podrían ser modificadas o son en cierto sentido arbitrarias (la varianza de los choques aleatorios, las proporciones y tipos de los competidores iniciales, el modo en que la complejidad afecta a la evolución, etc.). A pesar de esto, los resultados nos parecen relevantes. En primera lugar porque la mayoría de los modelos, especialmente en la literatura de las simulaciones evolutivas, pueden ser sujetos a la misma crítica. En segundo lugar, porque el punto principal del trabajo es solo ilustrar una situación factible aunque sea para un marco particular que parezca suficientemente razonable.

[10]Aunque no lo modela explícitamente, este trabajo deja lugar para la evolución social de la moral (sea por imitación, por aprendizaje, o por cualquier otra forma de evolución social). En particular, el parámetro α puede tener su propio proceso evolutivo. En ese sentido, la pespectiva del trabajo puede ser compatible con aquella de los tres tiempos de Binmore: en

Resultados habituales de la simulación:

Figura 4. Dilema del Prisionero Iterado con Complejidad



---

el corto plazo los humanos toman decisiones tomando el juego (modificado subjetivamente) como fijo. En el mediano plazo, la evolución social determina a α. En el largo plazo los procedimientos de decisión son seleccionados por la evolución natural.

6. Discusión

Esta tesis es de naturaleza exploratoria pues contiene varias cuestiones que no son particularmente ortodoxas en la literatura. Sus ideas principales pertenecen por lo menos a tres temas distintos: el tema de las heurísticas, el tema de la complejidad en los juegos evolutivos, y el tema de la moral y de la cooperación.

Considero que el trabajo contiene tres principales debilidades:

En primer lugar, no se obtiene un resultado general. Si bien creo que el trabajo contiene varios aspectos interesantes, es más un ejemplo que formaliza una historia bonita que un resultado de una teoría bien axiomatizada.

En segundo lugar, el trabajo introduce demasiados aspectos novedosos a la vez. Si bien creo que cada uno de los aspectos introducidos es importante para poder entender lo que sucede, una aproximación más parsimoniosa que introdujera un elemento a la vez podría ser más clarificadora sobre lo que sucede.

Por último, aunque en este respecto no es tan distinto del resto de la literatura, resulta un poco extraño el tipo de epistemología que tienen los procedimientos. Por ejemplo, el procedimiento completamente racional elige estrategias y conoce a los otros oponentes por completo mientras que los procedimientos mecánicos solo toman acciones y no conocen más que las historias pasadas. Si bien la noción de heurística generaliza ambas y otras nociones, un estudio más cuidadoso sería sustancioso.

Asimismo, existen varias áreas donde se pueden realizar ajustes y estudios posteriores en la misma línea que la de este trabajo. Por ejemplo, sería interesante analizar más exhaustivamente y quizá al punto de crear una teoría, la introducción de procedimientos de decisión en la teoría de juegos. También sería relativamente sencillo replicar los torneos evolutivos realizados en otros contextos, con otros parámetros, con otros competidores y con otros juegos estratégicos. Tal vez incluso sería posible utilizar algoritmos genéticos de alguna forma para estudiar la evolución de ambas partes de los procedimientos de manera más general.

Otro aspecto sobre el que valdría la pena profundizar es sobre la medida de complejidad de los procedimientos de decisión. Si bien la medida planteada puede ser una primera aproximación, es probable que ideas basadas en topología y topología algebraica podrían contribuir con una medida más sólida que podría resultar, por ejemplo, en una generalización de la complejidad utilizada en la teoría de juegos.

Para concluir, se podría decir que este trabajo hace dos puntos principales: primero es el postulado de que los humanos actúan y toman decisiones utilizando heurísticas. Las heurísticas contienen dos partes a las que llamo mecánica y racional. Estas heurísticas funcionan reduciendo la complejidad de los problemas de decisión y modificando las preferencias de los agentes. Considero que el hecho de que los humanos no estén única y conscientemente tratando de maximizar su probabilidad de sobrevivir (o la de sus genes o la de su especie), sino que más bien tiengan deseos variados para distintas cosas como el amor, el autoestima, el sexo, el conocimiento y el hambre, pueden ser entendidas de esta manera. Esos deseos son las heurísticas que permiten aproximarse a la maximización de la probabilidad de sobrevivir y que funcionan como sustitutos a la racionalidad completa. El segundo punto del trabajo ilustra en un torneo evolutivo como la moral, entendida como una de esas heurísticas, puede ser favorecida por la evolución. La simulación realizada ejemplifica cómo la evolución favorece a un algoritmo sencillo con objetivos modificados. La moral es entonces un atajo heurístico a la racionalidad.

Referencias

[1] Abreu, D., and Rubinstein, A. The structure of nash equilibrium in repeated games with finite automata. *Econometrica: Journal of the Econometric Society 56*, 6 (1988), 1259–1281.

[2] Alger, I., and Weibull, J. W. Homo moralis: preference evolution under incomplete information and assortative matching. *Econometrica: Journal of the Econometric Society 81*, 6 (2013), 2269–2302.

[3] Alvin E. Roth, J. H. K. *The handbook of experimental economics. Vol. 1.* Princeton University Press, 1995.

[4] Aumann, R. J. Rule-rationality versus act-rationality. *The Hebrew University of Jerusalem 497* (2008).

[5] Aumann, R. J., and Shapley, L. S. Long-term competition, a game theoretic analysis. In *Essays in Game Theory*. ch. 1.

[6] Axelrod, R. *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books, 1984.

[7] Banks, J. S., and Sundaram, R. K. Repeated games, finite automata, and complexity. *Games and Economic Behavior 2*, 2 (1990), 97–117.

[8] Binmore, K. *Game theory and the social contract. Vol. 1. Playing fair.* The MIT Press, 1994.

[9] Binmore, K. *Game theory and the social contract. Vol. 2. Just Playing.* The MIT Press, 1998.

[10] Binmore, K., and Samuelson, L. Evolutionary stability in repeated games played by finite automata. *Journal of economic theory 57*, 2 (1992), 278–305.

[11] Cherepanov, V., Feddersen, T., and Sandroni, A. Rationalization. *Theoretical Economics 8*, 3 (2013), 775–800.

[12] D'Arms, J. When evolutionary game theory explains morality, what does it explain? *Journal of Consciousness Studies 7*, 1-2 (2000), 296–299.

[13] De Waal, F. Putting the altruism back into altruism: The evolution of empathy. *Annual Review of Psychology 59* (2008), 279–300.

[14] De Waal, F. *Primates and Philosophers: How Morality Evolved.* Princeton University Press, 2009.

[15] Fehr, E., and Schmidt, K. M. The economics of fairness, reciprocity and altruism. experimental evidence and new theories. In *Handbook of the Economics of Giving, Altruism and Reciprocity, Volume 1.* ch. 8.

[16] Frank, R. H. The role of moral sentiments in the theory of intertemporal choice. In *Choice Over Time*. ch. 11.

[17] Futia, C. The complexity of economic decision rules. *Journal of Mathematical Economics 4*, 3 (1977), 289–299.

[18] Gigerenzer, G., Hertwig, R., and Pachur, T. *Heuristics: The foundations of adaptive behavior*. Oxford University Press, 2011.

[19] Kahneman, D. *Thinking, fast and slow*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2011.

[20] Kendall, G., Yao, X., and Chong, S. Y. *The Iterated Prisoner's Dilemma: 20 years on*. World Scientific Publishing, 2007.

[21] Kitcher, P. Games social animals play: Commentary on brian skyrms's evolution of the social contract. *Philosophy and Phenomenological Research 59*, 1 (1999), 221–228.

[22] Kreps, D. M., Milgrom, P., Roberts, J., and Wilson, R. Rational cooperation in the finitely repeated prisoners dilemma. *Journal of economic literature 27*, 2 (1982), 245–252.

[23] Manzini, P., Mariotti, M., and Tyson, C. J. Two-stage threshold representations. *Theoretical Economics 8*, 3 (2013), 875–882.

[24] McCubbins, M. D., and Thies, M. F. Rationality and the foundations of positive political theory. *Leviathan 9* (1996), 7–32.

[25] McKenzie, J. A. *The structural evolution of morality*. Cambridge University Press, 2007.

[26] Neyman, A. Bounded complexity justifies cooperation in the finitely repeated prisoner's' dilemma. *Economics Letters 19*, 3 (1985), 227–229.

[27] Nowak, M. A. Five rules for the evolution of cooperation. *Science 314*, 5805 (2006), 1560–1563.

[28] Orr, A. Adaptation and the cost of complexity. *Evolution 54*, 1 (2000), 13–20.

[29] Rabin, M. Incorporating fairness into economics and game theory. *The American Economic Review 83*, 5 (1993), 1281–1302.

[30] Rabin, M. Psychology and economics. *Journal of economic literature 36*, 1 (1998), 11–46.

[31] Rubinstein, A. Finite automata play the repeated prisoner's dilemma. *Journal of Economic Theory 39*, 1 (1986), 83–96.

[32] Samuelson, L. Introduction to the evolution of preferences. *Journal of Economic Theory 97*, 2 (2001), 225–230.

[33] Simon, H. On how to decide what to do. *The Bell Journal of Economics 9*, 2 (1978), 494–507.

[34] Trivers, R. L. The evolution of reciprocal altruism. *The Quarterly Review of Biology 46*, 1 (1971), 35–57.

[35] Wagner, G., and Altenberg, L. Complex adaptations and the evolution of evolvability. *Evolution 50*, 3 (1996), 967 –976.

A. MATLAB

Los torneos evolutivos fueron programados de la siguiente manera:

- **Torneo sin Complejidad:**

1. Las estrategias empiezan con un porcentaje igual de la población.
2. La matriz de pagos con los choques estocásticos es calculada.
3. Los procedimientos de elección de la población juegan contra el resto de la población un Dilema del Prisionero Repetido Indefinidamente.
4. Los pagos para los primeras 50 etapas son calculados con un factor de descuento $\delta = .95$
5. Las nuevas proporciones de la población para cada estrategia son calculadas de acuerdo a $proporción(i, t+1) = \frac{proporción(i,t)*pagos(i,t)}{\sum_j proporciónj,t)*pagos(j,t)}$
6. El proceso se repite desde el paso 2 por 300 generaciones.

- **Torneo con Complejidad:**

1. La estrategia Random empieza con el total de la población.
2. La matriz de pagos con los choques estocásticos es calculada.
3. Los procedimientos de elección de la población juegan contra el resto de la población un Dilema del Prisionero Repetido Indefinidamente.
4. Los pagos para los primeras 50 etapas son calculados con un factor de descuento $\delta = .95$
5. Las nuevas proporciones de la población para cada estrategia son calculadas de acuerdo a $proporción(i, t+1) = \frac{proporción(i,t)*pagos(i,t)}{\sum_j proporciónj,t)*pagos(j,t)}$, pero ahora, para cada estrategia se toma un valor de una variable aleatoria binomial con parámetro que depende de la complejidad de cada estrategia, en caso de tomar valor positivo, la estrategia obtiene 0.1 % de la población y el resto de la población se reduce a 99.9 % de lo que tenía.
6. El proceso se repite desde el paso 2 por 300 generaciones.

Código

Iterated PD

```
%{
    Rivales
    1 All Coopearte
    2 All Defect
    3 TFT
    4 Random
    5 Fullyrational
    6 Grim
    7 STFT
    8 TFTT
    9 Pavlov
    10 MoralHuman
    11 SimpleRational
%}
%initial population.
k=11;
n=300;
delta=.95;
sigma=0;
population=zeros(k,n);
%population(2)=.4;
%population(10)=.6;
for i=1:k
population(i,1)=1/k;
end
pagos=zeros(k,n);
for i=1:n
     %tournament
     %obtengo pagos V.
        a= 3 +random('Normal',0,sigma);   b= 0 +random('Normal',0,sigma);
        c= 5 +random('Normal',0,sigma);   d= 1 +random('Normal',0,sigma);
        matriz=[a,b;c,d];
        i
        matriz
     total=0;
     for j=1:k
          for r=1:k
               pagos(j,i)=pagos(j,i)+population(r,i)*max(juego(j,r,delta,matriz),0);
          end
          total=total+pagos(j,i)*population(j,i);
     end

     % %Population
     for j=1:k
          population(j,i+1)= population(j,i)*pagos(j,i)/total;
          population(j,i+1);
     end
end
figure;
plot(1:n+1,population(5,:),1:n+1,population(10,:),1:n+1,population(2,:),
1:n+1,population(3,:),1:n+1,population(4,:),1:n+1,population(11,:))
```

Iterated PDwC

```
%{
    Rivales
    1 All Coopearte
    2 All Defect
    3 TFT
    4 Random
    5 Fullyrational
    6 Grim
    7 STFT
    8 TFTT
    9 Pavlov
    10 MoralHuman
    11 SimpleRational
%}

%initial population.
k=11;
n=300;
delta=.95;
sigma=1;
population=zeros(k,n);
population(4,1)=1;
pagos=zeros(k,n);
complejidad=zeros(k,1);
complejidad(4)=1;
complejidad(1)=.5;
complejidad(2)=.5;
complejidad(3)=.25;
complejidad(6)=.25;
complejidad(7)=.25;
complejidad (8)=.25;
complejidad (9)=.25;
complejidad(12)=.25;
complejidad(10)=.125;
complejidad(11)=.125;
complejidad(5)=.00;

for i=1:n
    %tournament
    %obtengo pagos V.
       a= 3 +random('Normal',0,sigma);   b= 0 +random('Normal',0,sigma);
       c= 5 +random('Normal',0,sigma);   d= 1 +random('Normal',0,sigma);
       matriz=[a,b;c,d];
       i
       matriz
    total=0;
    for j=1:k
        for r=1:k
            pagos(j,i)=pagos(j,i)+population(r,i)*max(juego(j,r,delta,matriz),0);
        end
        total=total+pagos(j,i)*population(j,i);
    end

    %%population
    for j=1:k
        population(j,i+1)= population(j,i)*pagos(j,i)/total;
        population(j,i+1);
    end

    for j=1:k
        if(binornd(1,complejidad(j))==1)
            population(:,i+1)=.999*population(:,i+1);
            population(j,i+1)=population(j,i+1)+.001;
        end
    end
end
figure;
```

```
plot(1:n+1,population(5,:),1:n+1,population(10,:),1:n+1,population(2,:),
1:n+1,population(3,:),1:n+1,population(4,:),1:n+1,population(11,:))
```

Juego

```
function [ pago ,pagoriv] = juego( loc,riv,delta,pagos)

    a=pagos(1,1);
    b=pagos(1,2);
    c=pagos(2,1);
    d=pagos(2,2);

    pasado1=zeros(1,2);
    pasado2=zeros(1,2);
    pasado3=zeros(1,2);
    pasadoprom=zeros(1,2);
    upasada=0;
    uriv=0;

    pago=0;
    pagoriv=0;

    for i=1:50
        rival=riv;
       switch loc
       case 1
          accion1=AllCooperate([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
         [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       case 2
          accion1=AllDefect([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
          [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       case 3
          accion1=TFT([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
          [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       case 4
          accion1=Random([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
          [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       case 5
          accion1=Fullyrational([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
            [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       case 6
          accion1=AllDefect([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
                [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       case 7
          accion1=STFT([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
            [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       case 8
          accion1=TFTT([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
                 [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       case 9
          accion1=Pavlov([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
            [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos,upasada);
       case 10
          accion1=MoralHuman([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
            [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos,uriv);
       otherwise
          accion1=SimpleRational([pasado1(1),pasado1(2)],[pasado2(1),pasado2(2)],
           [pasado3(1),pasado3(2)],[pasadoprom(1),pasadoprom(2)],rival,pagos);
       end

       rival=loc;
       switch riv
       case 1
          accion2=AllCooperate([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
          [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
       case 2
          accion2=AllDefect([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
          [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
```

```
case 3
    accion2=TFT([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
case 4
    accion2=Random([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
case 5
    accion2=Fullyrational([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
case 6
    accion2=AllDefect([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
case 7
    accion2=STFT([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
case 8
    accion2=TFTT([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
case 9
    accion2=Pavlov([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos,uriv);
case 10
    accion2=MoralHuman([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos,upasada);
otherwise
    accion2=SimpleRational([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
    [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
end

if(i>=3)
pasado3(1)=pasado2(1);
pasado3(2)=pasado2(2);
end
if(i>=2)
pasado2(1)=pasado1(1);
pasado2(2)=pasado1(2);
end
pasadoprom(1)=(pasadoprom(1)*(i-1)+accion1)/(i);
pasadoprom(2)=(pasadoprom(2)*(i-1)+accion2)/(i);

pasado1(1)=accion1;
pasado1(2)=accion2;

if(accion1==1)
     if(accion2==1)
         pago=pago+delta^(i-1)*a;
         upasada=a;
         uriv=a;
         pagoriv=pagoriv+delta^(i-1)*uriv;
     end
     if(accion2==2)
          pago=pago+delta^(i-1)*b;
          upasada=b;
          uriv=c;
          pagoriv=pagoriv+delta^(i-1)*uriv;
     end
end
if(accion1==2)
     if(accion2==1)
          pago=pago+delta^(i-1)*c;
          upasada=c;
          uriv=b;
          pagoriv=pagoriv+delta^(i-1)*uriv;
     end
     if(accion2==2)
          pago=pago+delta^(i-1)*d;
          upasada=d;
          uriv=d;
```

```
                pagoriv=pagoriv+delta^(i-1)*uriv;
            end
        end
    end

end
```

Estrategias

1. All Cooperate

```
function [ accion ] = AllCooperate( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival,pagos )
%complex 1
accion=1;
end
```

2. AllDefect

```
function [ accion ] = AllDefect( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival,pagos )
%complex 1
accion=2;
end
```

3. TFT

```
function [ accion ] = TFT( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival,pagos )
%complex 2
if(pasado1(2)==1)
    accion=1;
end
if(pasado1(2)==0)
    accion=1;
end
if(pasado1(2)==2)
    accion=2;
end
end
```

4. Random

```
function [ accion ] = Random( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival, pagos )
% %complex 0
accion=binornd(1,.5)+1;
end
```

5.Fullyrational

```
function [ accion ] = Fullyrational( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival,pagos )
    alpha=.75;
    a=pagos(1,1);
    b=pagos(1,2);
    c=pagos(2,1);
    d=pagos(2,2);
    if(rival==1)
        if(a>c)
            accion=1;
        else
            accion=2;
        end
    end
    if(rival==2)
        if(b>d)
            accion=1;
        else
            accion=2;
        end
    end
    if(rival==3)
```

```
    accion=1;
end
 if(rival==4)
    if(a+b>c+d)
        accion=1;
    else
        accion=2;
    end
end
if(rival==5)
    if(a>d)
        accion=1;
    else
        accion=2;
    end
end
if(rival==6)
        accion=2;
end
if(rival==7)
    accion=1;
end
if(rival==8)
            if(pasado1(1)==2)
                accion=1;
            else
            accion=2;
            end
end
 if(rival==9)
    if(pasado1(2)==0)
        if(a+b>c+d)
            accion=1;
        else
            accion=2;
        end
    end
    if(pasado1(2)==1 && pasado1(1)==1)
        if(a>3)
            if(a>c)
                accion=1;
            else
                accion=2;
            end
        else
             if(b>d)
                accion=1;
            else
                accion=2;
             end
        end
    end
     if(pasado1(2)==1 && pasado1(1)==2)
        if(c>3)
            if(a>c)
                accion=1;
            else
                accion=2;
            end
        else
             if(b>d)
                accion=1;
            else
                accion=2;
             end
        end
     end
    if(pasado1(2)==2 && pasado1(1)==1)
```

```
            if(b>3)
                if(b>d)
                    accion=1;
                else
                    accion=2;
                end
            else
                 if(a>c)
                    accion=1;
                else
                    accion=2;
                 end
            end
        end
         if(pasado1(2)==2 && pasado1(1)==2)
            if(d>3)
                if(b>d)
                    accion=1;
                else
                    accion=2;
                end
            else
                 if(a>c)
                    accion=1;
                else
                    accion=2;
                 end
            end
         end
     end



    if(rival==10)
        %{
         if((1-alpha)*a+alpha>=(1-alpha)*c)
            accion=1;
         else
            accion=2;
         end
         %}
        if(a>d)
            accion=1;
        else
            accion=2;
        end
    end
    if(rival==11)
        if(a>=c)
            accion=1;
        else
            accion=2;
       end
    end
    if(rival==12)
        accion=1;
    end
end
```

6. STFT

```
function [ accion ] = STFT( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival,pagos )
%complex 2
if(pasado1(2)==1)
    accion=1;
end
if(pasado1(2)==0)
```

```
    accion=2;
end
if(pasado1(2)==2)
    accion=2;
end
end
```

7. TFTT

```
function [ accion ] = TFTT( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival,pagos )
%complex 2
if(pasado1(2)==2 && pasado2(2)==2)
    accion=2;
else
    accion=1;
end
```

8. Pavlov

```
function [ accion ] = Pavlov( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival,pagos,upasada )
%complex 2
    if(pasado1(2)==0)
        accion=binornd(1,.5)+1;
    else
        if(upasada>=3)
        accion=pasado1(1);
        else
            if(pasado1(1)==1)
                accion=2;
            else
                accion=1;
            end
        end
    end
end
```

9. MoralHuman

```
function [ accion ] = MoralHuman( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,riv,pagos,u)
   alpha=.75;
    rival=10;
    switch riv
        case 1
            accion2=AllCooperate([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
            [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
        case 2
            accion2=AllDefect([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
            [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
        case 3
            accion2=TFT([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
             [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
        case 4
            accion2=Random([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
             [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
        case 5
            accion2=Fullyrational([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
             [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
        case 6
            accion2=AllDefect([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
             [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
        case 7
            accion2=STFT([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
             [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
        case 8
            accion2=TFTT([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
             [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
        case 9
```

```
            accion2=Pavlov([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
              [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos,u);
        case 10
            if(pagos(1,1)>pagos(2,2))
                accion2=1;
            else
                accion2=2;
            end
        otherwise
            accion2=SimpleRational([pasado1(2),pasado1(1)],[pasado2(2),pasado2(1)],
              [pasado3(2),pasado3(1)],[pasadoprom(2),pasadoprom(1)],rival,pagos);
    end

        if(riv==10 ||  riv==5 )
              if(pagos(1,1)>pagos(2,2))
                accion=1;
            else
                accion=2;
            end
        else
        if(accion2==2)
         if(pagos(1,2)>pagos(2,2))
             accion=1;
         else
             accion=2;
          end
        else
         if((1-alpha)*pagos(1,1)+alpha>=(1-alpha)*pagos(2,1))
             accion=1;
         else
          accion=2;
         end
        end
        end
end
```

10. SimpleRational

```
function [ accion ] = SimpleRational( pasado1,pasado2,pasado3,pasadoprom,rival,pagos)
     if(pasado1(2)==2)
        if(pagos(1,2)>pagos(2,2))
        accion=1;
        else
        accion=2;
        end
     else
        if(pagos(1,1)>=pagos(2,1))
        accion=1;
        else
        accion=2;
        end
     end
end
```