

Plataforma web para torneos de juegos 2x2

José Antonio Barbero Aparicio^a, Virginia Ahedo García^b, José Ignacio Santos Martín^c

^a Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Burgos, Burgos, Spain. jabarbero@ubu.es

^b Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Burgos, Burgos, Spain. vahedo@ubu.es

^c Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Burgos, Burgos, Spain. jisantos@ubu.es

Resumen

En este trabajo presentamos una plataforma web diseñada para introducir la teoría de juegos en el aula mediante torneos 2x2. La aplicación está inspirada en el torneo de Axelrod celebrado en 1980 (dilema del prisionero iterado).

La plataforma web que hemos desarrollado no solo permite reproducir las condiciones del torneo original de Axelrod, sino que ofrece la posibilidad de configurar la matriz de pagos de cualquier otro juego 2x2.

Un torneo comienza cuando el administrador determina el tipo de juego introduciendo la matriz de pagos. A continuación, los alumnos se incorporan y pueden diseñar y probar sus estrategias en NetLogo. Posteriormente, eligen la mejor estrategia, la envían y finaliza el torneo, confrontándose todas las estrategias enviadas. Además de la funcionalidad principal, la aplicación permite almacenar resultados y llevar a cabo más de un torneo simultáneamente.

La aplicación, que puede ser descargada en el enlace: <https://github.com/JoseBarbero/PlataformaTorneos2x2>, cumple un doble objetivo: introducir al alumno en el estudio de la teoría de juegos y enseñarle a formalizar, (ya que las distintas estrategias habrán de formalizarse y traducirse a código en NetLogo). Estos dos aspectos son de especial interés en ingeniería, donde por un lado nos encontramos con múltiples problemas estratégicos, y por otro lado, es fundamental el desarrollo del pensamiento abstracto y de la capacidad de formalización como paso previo a la programación en los diversos lenguajes. No obstante, nuestra herramienta puede emplearse en un contexto disciplinar mucho más amplio que el de la ingeniería, ya que en disciplinas como la economía, la biología, la sociología, la psicología, etc., los problemas estratégicos son también frecuentes.



Palabras claves: Teoría de Juegos, Torneos 2x2, Aplicación Web, Recurso Docente, Problemas Estratégicos, Formalización.

1. Introducción

Las nuevas tecnologías tienen cada vez más repercusión en el ámbito docente. La utilización y el desarrollo de herramientas digitales están cambiando la manera en que se explican los contenidos, consiguiendo al mismo tiempo involucrar al alumno de forma más activa en su aprendizaje. Por ello, a día de hoy es casi imprescindible que dotemos a los alumnos de cualquier titulación de unos conocimientos básicos de programación. A su vez, la gamificación, i.e., el empleo de juegos en el aula para ilustrar y/o introducir distintos temas de interés, es otra metodología docente en auge (Kapp, 2012). Dentro de la gamificación, encontramos diversas posibilidades, siendo especialmente interesante para nosotros la ejecución de juegos en computadores y la realización de simulaciones.

Por otra parte, la teoría de juegos es un campo en constante evolución y crecimiento debido a la gran cantidad de áreas del conocimiento en las que tiene aplicación: economía, biología, sociología, psicología y ciencias de la computación, entre otras. Además, en relación con todo lo anterior, varios de los problemas que aborda la teoría de juegos encajan a la perfección con la enseñanza basada en simuladores o juegos, siendo numerosos los trabajos que han explorado esta posibilidad en el ámbito de la docencia en economía (Galán Ordax, J. M., Izquierdo Millán, L. R., Izquierdo Millán, S., López Paredes, A., Pascual Ruano, J. A., Posada Calvo, M., Santos Martín, J. I. y Villafañez Cardeñoso, 2007; Pascual, J. A., Galán, J. M., Izquierdo, L. R., Santos, J. I., Izquierdo, S. S., & González Tapia, 2009).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, decidimos desarrollar una herramienta docente que permitiera realizar simulaciones *online* para explicar los famosos torneos 2x2 de la teoría de juegos, y que a su vez obligara al alumno a programar mínimamente. Este doble objetivo es precisamente el elemento diferenciador de nuestra herramienta, ya que si bien todas las implementaciones existentes (Brodie, 2011; Gareev, 2017; Savani & von Stengel, 2014; Vasconcelos, 2016) permiten explorar las distintas posibilidades de los juegos que presentan, ninguna -excepto la nuestra- exige la formalización y programación de las estrategias. Cabe destacar que aunque nuestra aplicación fue ideada de tal forma que permitiera reproducir torneos 2x2 de cualquier tipo, durante todo su desarrollo se utilizó como torneo de referencia el dilema del prisionero (Poundstone, 1992).

Los dos objetivos funcionales principales que establecimos para nuestra aplicación fueron: (1) permitir que el administrador (profesor) configure cualquier torneo 2x2 en base a la



introducción de la matriz de pagos correspondiente; (2) permitir que distintos participantes (alumnos) se unan a dichos torneos y participen en los mismos desde sus ordenadores.

Más allá de los objetivos funcionales principales, entre los aspectos más interesantes de la implementación cabe destacar que: (i) cada participante (alumno) deberá desarrollar -en forma de código- una estrategia que le permita obtener mayor puntuación que el resto de los participantes a lo largo de sucesivas iteraciones; (ii) se les proporciona a los participantes un medio en el que desarrollar y probar su estrategia compitiendo contra estrategias preestablecidas (un modelo implementado en *NetLogo* que presenta varias estrategias predefinidas); (iii) tanto los alumnos como el profesor pueden consultar las puntuaciones al final del torneo para sacar conclusiones.

1.1. Conceptos teóricos – Teoría de juegos

“La teoría de juegos estudia situaciones de conflicto y cooperación a las que denominamos juegos, en las que interactúan individuos racionales, analizando los comportamientos y resultados que son de esperar, bien mediante decisiones individuales (caso de los juegos no cooperativos), bien mediante acuerdos entre los participantes (caso de los juegos cooperativos)” (Navarro, Tena, & Pastor, 2004).

Dentro de la teoría de juegos, la aplicación que aquí presentamos se centra en un subconjunto denominado juegos 2x2, en los que dos jugadores se enfrentan con dos estrategias posibles cada uno. Concretamente, el juego 2x2 en el que nos inspiramos, el dilema del prisionero, resulta ser el más popular de los juegos 2x2 y uno de los embajadores de la teoría de juegos en general.

El dilema del prisionero es un sencillo juego no cooperativo que fue ideado en 1950 por Melvin Dresher y Merrill Flood (Poundstone, 1992). En su versión clásica, dos individuos, (el individuo 1 y el individuo 2), han sido arrestados por ser sospechosos de haber cometido conjuntamente un delito grave, si bien no hay pruebas suficientes para incriminarlos, y con la evidencia disponible solo podríamos acusarlos de delitos menores. Se les separa y a ambos se les ofrece el mismo trato: proporcionar las pruebas suficientes para incriminar al otro. Si solo uno de los dos elige esta opción (i.e., delatar a su compañero), al delator se le premiará con la libertad mientras que su compañero será condenado a una dura pena de 12 años de prisión. Si, por el contrario, ambos delatan a su compañero, la evidencia disponible será suficiente como para poder condenar a ambos por el delito grave; sin embargo, en este caso, se tendrá en cuenta que han facilitado la labor de la justicia y la condena será de 10 años de prisión para cada uno (en lugar de 12). Por último, si ninguno de los dos colabora con la justicia, sino que cooperan entre sí, con las pruebas disponibles solo se podrá condenar a ambos a un año de prisión por delitos menores. En la tabla 1 tenemos la matriz

de pagos del dilema del prisionero, correspondiéndose cada pago con la utilidad que esa decisión tiene para el individuo. Por este motivo, cada pago es el complementario (valor negativo) del número de años de cárcel, -mayor utilidad cuanto menor sea el valor absoluto del número-.

Tabla 1: Matriz de pagos del dilema del prisionero

1↓ / 2→	Delatar	Cooperar
Delatar	(-10, -10)	(0, -12)
Cooperar	(-12, 0)	(-1, -1)

En 1980, Robert Axelrod reunió a numerosos expertos en varias áreas del conocimiento con el objetivo de enfrentarlos en un torneo en el que jugarían al dilema del prisionero de forma iterada (Axelrod, 1980). A diferencia del dilema del prisionero clásico, en el dilema del prisionero iterado los jugadores juegan varias veces consecutivas, recordando cuál fue la decisión previa de su oponente y cambiando su propia estrategia en consecuencia. Por tanto, esta modalidad permite a los jugadores castigar a su oponente por no haber cooperado en juegos anteriores.

En el torneo de Axelrod, el objetivo era obtener la máxima puntuación final posible después de enfrentarse a cada una de las otras estrategias por separado, a la suya propia y a una estrategia de toma de decisiones aleatoria, durante exactamente doscientos movimientos en cada enfrentamiento. La estrategia que ganó fue la de la “toma y daca” (*tit for tat*), estrategia que coopera la primera vez y a continuación hace lo que hizo su oponente en la ronda anterior (Amnon Rapoport, Seale, & Colman, 2015).

Tal y como se comentó con anterioridad, dado que nuestra aplicación determina el tipo de juego en base a la matriz de pagos, permite configurar cualquier juego 2x2 y no solo el dilema del prisionero. Por ello, nuestra propuesta docente consiste en utilizar la aplicación para trabajar en clase sobre tres de los juegos 2x2 más arquetípicos: el dilema del prisionero, la batalla de los sexos y el juego de la gallina, -en este orden-, con el fin de afianzar conceptos y de facilitar la comprensión, formalización y el análisis de los mismos.

Brevemente, comentar que la batalla de los sexos es el ejemplo clásico de un juego de coordinación en el que una pareja tiene que elegir entre dos opciones de entretenimiento; el hombre prefiere un tipo de actividad y la mujer otro, primando para ambos el deseo de estar juntos frente a realizar las actividades en solitario (Colman, 1995; Leyton-Brown & Shoham, 2008). Como dato importante, cabe destacar que los jugadores no pueden comunicarse con el otro y por tanto, decidirán sin saber qué eligirá su pareja. Si ambos optan por realizar la actividad que prefieren, acabarán yendo solos, siendo los pagos (2, 2). Si por el contrario, ambos deciden actuar de forma heroica y sacrificarse acudiendo a la actividad que no les gusta, irán también solos (su pareja se habrá ido a la otra actividad),

por lo que los pagos serán (1,1). Por último, si uno elige su opción preferida y el otro se sacrifica, los pagos serán (3, 4) ó (4, 3), mejores para ambos que en cualquiera de las otras dos opciones, pero no tan buenos para quien se sacrifica como para el otro.

Tabla 2: Matriz de pagos de la batalla de los sexos

1↓ / 2→	C	D
C	(2, 2)	(4, 3)
D	(3, 4)	(1, 1)

Por su parte, la versión más habitual del juego de la gallina (también conocido como del montón de nieve *-snowdrift-*) es la siguiente (Colman, 1995; Anatol Rapoport & Chammah, 1966): dos motoristas conducen a gran velocidad el uno hacia el otro. Cada uno de ellos tiene la opción de apartarse para evitar una colisión frontal (estrategia de ser un “gallina”) o de continuar conduciendo de frente con determinación (estrategia del “valiente” o “machito”). Si ambos jugadores son “gallinas”, el resultado será un empate con pagos (3, 3) -ambos salvan la vida-. Si ambos son “machitos” y continúan conduciendo de frente, se arriesgan a morir o sufrir graves lesiones, por lo que los pagos serían (1,1). Sin embargo, si uno de ellos se aparta (“gallina”) y el otro aprovecha esta situación y continúa conduciendo de frente, el “gallina” salvará la vida pero habrá perdido prestigio mientras que su oponente, al haber explotado esta estrategia, se llevará la victoria y quedará como el valiente; los pagos serán (2, 4) o (4, 2) dependiendo de quién sea el “gallina”.

Tabla 3: Matriz de pagos del juego de la gallina

1↓ / 2→	Cooperar	Defectar
Cooperar	(3, 3)	(2, 4)
Defectar	(4, 2)	(1, 1)

2. Materiales y métodos

2.1. Tecnologías utilizadas

Debido a la naturaleza de los juegos 2x2, hemos empleado *NetLogo 5.3.1* (Wilensky, 1999) en nuestra aplicación. *NetLogo* es un lenguaje de modelado multiagente basado en Java y con disponibilidad multiplataforma, que fue especialmente concebido para la simulación de fenómenos naturales y sociales, i.e., para el modelado de sistemas complejos que evolucionan en el tiempo. *NetLogo* permite dar órdenes a cientos de agentes independientes

simultáneamente, y facilita el estudio y la visualización de los patrones micro y macro que emergen como consecuencia de las interacciones entre agentes.

Además, *NetLogo* es de acceso abierto, dispone de una versión web (*NetLogo* web) que permite ejecutarlo en cualquier lugar sin necesidad de instalación previa, cuenta con una amplia galería de modelos ya implementados y su uso se encuentra muy extendido en el ámbito académico.

En lo referente al desarrollo web, las herramientas utilizadas fueron *PHP* y *MariaDB*, para el lado del servidor, y *JavaScript* y *Bootstrap* (versión 3.3.7) para el lado del cliente. Con respecto al despliegue en un equipo local, éste se realizó utilizando *XAMPP*.

2.2. Estructura y funcionamiento

El primer paso para comenzar un torneo es su creación por parte de un usuario de tipo administrador, (el único tipo de usuario que puede crear y terminar torneos). Al crear el torneo es cuando se introducen los pagos o parámetros de recompensa, definiendo así el tipo de juego 2x2 deseado.

Una vez creado el torneo, éste pasa a estar disponible para todos los usuarios, de modo que pueden inscribirse en él. Tras inscribirse, cada participante tendrá que desarrollar su propia estrategia en *NetLogo*. Para ello, se proporciona un entorno en el que, introduciendo las líneas de código de su solución, pueden probar su estrategia contra varias ya preestablecidas, recibiendo la evolución de su puntuación en forma de gráfica. Una vez realizadas las pruebas pertinentes, cada participante podrá enviar su estrategia para inscribirla en el torneo, teniendo también la oportunidad de descargarla para futuras ocasiones.

Por último, se celebra el torneo, en el que todas las estrategias se enfrentan una a una contra todas las demás, generándose una tabla de clasificación con las puntuaciones totales obtenidas y el usuario correspondiente.

2.3. Desarrollo

La estructura general de la aplicación consta de tres bloques principales: (1) el modelo de *NetLogo* destinado a que los alumnos prueben sus estrategias; (2) el modelo global de *NetLogo* en el que se disputa el torneo final entre todos los alumnos, y (3) todos los elementos relacionados con la propia web, es decir, el servidor y la aplicación web en sí misma.

Como detalles de implementación cabe destacar (i) que los jugadores de cada juego 2x2 han sido modelados como agentes individuales (*turtles*); (ii) que cuando el alumno entrega su estrategia a través de la web, ésta se guarda en el servidor en forma de archivo (.nlogo), archivo que posteriormente será extraído en un fichero (.nls) e importado por el modelo global de *NetLogo* para celebrar el torneo final; (iii) a su vez, los resultados del torneo son también exportados en un fichero que es posteriormente leído por el servidor y almacenado en la base de datos; (iv) la gestión de usuarios se ha realizado limitando las funcionalidades a las que tienen acceso los usuarios con perfil de alumno con respecto a aquellas a las que tienen acceso los profesores.

2.4. Manual de usuario - ¿Cómo implementarlo en clase?

Dada la versatilidad de nuestra aplicación en cuanto al tipo de juego 2x2 en el que basar cada torneo, nos ha parecido oportuno presentar a modo de ejemplo una propuesta docente específica; en ella, indicamos un esquema tipo a seguir, que es el que a nosotros nos parece más apropiado para utilizar la herramienta en el aula y a su vez conseguir un mayor aprovechamiento de las clases.

Nuestra propuesta sugiere empezar con el juego más universalmente conocido (el dilema del prisionero) y avanzar posteriormente hacia los juegos menos populares. Más concretamente, a nuestro parecer, la secuencia lógica de implementación sería:

1. Introducción a la teoría de juegos y a sus conceptos más elementales (*estrategia dominante, equilibrio de Nash, equilibrio óptimo de Pareto*, etc.), para que los alumnos se familiaricen con ellos y puedan luego identificarlos en los diferentes juegos que se desarrollen en clase.
2. Diferenciación entre juegos repetidos y no repetidos y con finalización y horizonte finito e infinito.
3. Presentación de la aplicación web. Registro como usuarios con perfil alumno. Explicación del entorno de programación en el que habrán de desarrollar sus estrategias.
4. Torneo iterado del dilema del prisionero. Evaluación de las distintas estrategias presentadas. Conclusiones.
5. Torneo iterado sobre la batalla de los sexos. Análisis de estrategias. Conclusiones.
6. Torneo iterado sobre el juego del gallina. Evaluación de estrategias. Conclusiones.
7. Recapitulación. Lecciones aprendidas.

3. Discusión

La plataforma web para torneos de juegos 2x2 está orientada a la docencia. Idealmente, esta herramienta debería usarse en las sesiones prácticas para afianzar los conceptos teóricos previamente explicados en teoría y para a su vez adquirir habilidades de programación (en este caso en *NetLogo*).

Dado que el nivel de abstracción en los problemas clásicos de teoría de juegos es bastante alto, resulta muy interesante disponer de una aplicación que permita pasar de lo general a lo particular (mediante la configuración de la matriz de pagos del juego 2x2 correspondiente) y que brinde la posibilidad de interactuar y experimentar directamente con cada modelo, facilitando así el análisis de los distintos problemas, de los fenómenos emergentes y de la dependencia del contexto.

4. Conclusiones y líneas futuras

La herramienta docente desarrollada busca mejorar la comprensión de los distintos juegos 2x2 haciendo que el alumno interactúe directamente con el problema. Esto favorece que el alumno saque sus propias conclusiones y facilita la evaluación del impacto del contexto, así como de los fenómenos que emergen durante la dinámica del torneo.

Dentro de las líneas futuras cabe señalar dos posibles líneas de trabajo: (a) la integración de esta herramienta con la plataforma Moodle y (b) desarrollar una versión evolutiva de esta aplicación.

Una versión evolutiva de la aplicación actual se correspondería con la versión también evolutiva que el propio Axelrod desarrolló (Axelrod, 1997). La implementación evolutiva implicaría crear poblaciones de estrategias que interactuarían unas con otras, y estudiar su desarrollo y variación en el tiempo, así como las condiciones bajo las cuales algunas de esas estrategias son evolutivamente estables.

Referencias

- Axelrod, R. (1980). Effective Choice in the Prisoner's Dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 24(1), 3–25. <https://doi.org/10.1177/002200278002400101>
- Axelrod, R. (1997). *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press.



- Brodie, M. (2011). “2x2 Ordinal Games.” Retrieved from <http://demonstrations.wolfram.com/2x2OrdinalGames>
- Colman, A. M. (1995). *Game Theory and its Applications* (1st Editio). <https://doi.org/10.4324/9780203761335>
- Galán Ordax, J. M., Izquierdo Millán, L. R., Izquierdo Millán, S., López Paredes, A., Pascual Ruano, J. A., Posada Calvo, M., Santos Martín, J. I. y Villafañez Cardeñoso, F. A. (2007). LABEXNET: un Laboratorio de Economía Experimental en Internet. *RELIEVE, Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 13(1).
- Gareev, T. (2017). “Best Response in Static Two-Player Games.” Retrieved from <http://demonstrations.wolfram.com/BestResponseInStaticTwoPlayerGames>
- Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*.
- Leyton-Brown, K., & Shoham, Y. (2008). Essentials of Game Theory: A Concise Multidisciplinary Introduction. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 2(1), 1–88. <https://doi.org/10.2200/S00108ED1V01Y200802AIM003>
- Navarro, J. P., Tena, E. C., & Pastor, J. L. J. (2004). *Teoría de juegos*. Pearson.
- Pascual, J. A., Galán, J. M., Izquierdo, L. R., Santos, J. I., Izquierdo, S. S., & González Tapia, J. (2009). Una herramienta didáctica para la enseñanza de la teoría de juegos mediante Internet. *EduTec. Revista Electrónica De Tecnología Educativa*, 29(a117). <https://doi.org/10.21556/edutec.2009.29.449>
- Poundstone, W. (1992). *Prisoner's Dilemma: John Von Neumann, Game Theory and the Puzzle of the Bomb* (1st ed.). New York: Doubleday.
- Rapoport, Amnon, Seale, D. A., & Colman, A. M. (2015). Is Tit-for-Tat the Answer? On the Conclusions Drawn from Axelrod's Tournaments. *PLOS ONE*, 10(7), e0134128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134128>
- Rapoport, Anatol, & Chammah, A. M. (1966). The Game of Chicken. *American Behavioral Scientist*, 10(3), 10–28. <https://doi.org/10.1177/000276426601000303>
- Savani, R., & von Stengel, B. (2014). *Game Theory Explorer - Software for the Applied Game Theorist*. <https://doi.org/10.1007/s10287-014-0206-x>
- Vasconcelos, F. (2016). “Prisoner's Dilemma and Some Analogs in Game Theory.” Retrieved from <http://demonstrations.wolfram.com/PrisonersDilemmaAndSomeAnalogsInGameTheory/>
- Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

