

# Juego de Dominó para Cuatro Jugadores utilizando Agentes Artificiales

José Martínez Carranza, Angélica Muñoz Meléndez  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica  
Coordinación de Ciencias Computacionales  
Luís Enrique Erro No 1. Sta Ma. Tonantzintla  
72840 Puebla, México  
{josemcr,munoz}@inaoep.mx

## Resumen

*La Inteligencia Artificial Distribuida y los Sistemas Multi-Agente proponen algunas arquitecturas que permiten, mediante el uso de agentes, modelar el comportamiento de un sistema complejo. La idea principal es que la interacción o el comportamiento inteligente resulta de la interacción de sus partes más simples, entre ellas y con el medio ambiente. En este artículo se presenta el diseño e implementación de un juego de dominó utilizando agentes artificiales, dos de los cuales fueron diseñados para jugar como pareja, mientras que los otros dos se diseñaron como jugadores individualistas. El objetivo es mostrar la emergencia del juego por la interacción de los jugadores y la emergencia del comportamiento del juego en pareja. Los resultados obtenidos confirman que el uso de agentes programados con reglas y planes básicos, junto con la interacción local entre ellos y con el medio, puede producir un comportamiento complejo.*

**Palabras clave:** Sistemas Multi-Agente, descentralización, deducción automática, estrategias de juego.

## 1. Introducción

La Inteligencia Artificial Distribuida y los Sistemas Multi-Agente (**IAD-SMA**) son dos áreas de la Inteligencia Artificial (**IA**) interesadas en la resolución colectiva de problemas. De manera general, las áreas de **IAD-SMA** subdividen un problema en partes modelando cada parte como un agente artificial. La solución emerge a través de la interacción entre estos agentes y de estos con lo que se conoce como medio ambiente o dominio del problema.

La descentralización es la clave de los sistemas de **IAD-SMA**. Los métodos propuestos para diseñar estos sistemas van desde aquellos de corte deliberativo que heredan la tradición clásica de la IA [1], a los de corte reactivo que se

basan en modelos de inspiración biológica o Vida Artificial [2].

Este trabajo describe la implementación de un juego de dominó para cuatro jugadores. Para ello, se diseñaron dos parejas de agentes artificiales que representan a los jugadores. Cada jugador fue dotado con una estrategia local basada en el ciclo observar-razonar-actuar para la selección de la ficha a tirar. Este es uno de los mecanismos propuestos por el enfoque clásico de **IAD-SMA**. Dos jugadores combinan sus acciones para realizar un juego en pareja. Los agentes de la pareja restante aplican una estrategia individualista. El objetivo es comparar el desempeño de agentes descentralizados que observan y razonan individualmente contra el de agentes colaborativos, que actúan en beneficio de su pareja de juego. La definición de una estrategia de juego en parejas es interesante, pues se basa no únicamente en la interacción local dada a través del juego, sino también en acuerdos establecidos previamente ya que, como es sabido, la comunicación directa y explícita entre los miembros de una pareja está prohibida durante el juego. Este comportamiento es lo que origina la emergencia del juego en pareja.

El resto de este trabajo se ha organizado como sigue, en la sección 2 se discute brevemente la programación de juegos y su importancia en el área de IA clásica. En la sección 3, se desarrolla el juego de dominó por parejas así como el trabajo realizado alrededor de este sistema. La implementación y la parte experimental se exponen en la sección 4 y se discuten en la sección 5. Finalmente, la sección 6 concluye con los comentarios finales.

## 2. La programación de juegos

Cuando se modela un sistema, es común tratar de construir modelos globales con los que se pueda representar y predecir el comportamiento de un sistema. Por ejemplo, el movimiento planetario, la trayectoria de un cometa o el



desenvolver. Por lo tanto, cobra sentido preguntarse ¿qué y cómo es lo que el agente percibirá? ¿cómo puede modificar su ambiente? ¿cómo identifica a sus agentes homólogos, en este caso a su pareja?

**El mundo del agente.** Para un agente, el mundo se reduce al tablero de juego y a la convivencia con los otros agentes. El tablero de juego puede ser visto como un repositorio colectivo de información: la información se coloca ahí a la vista de todos los agentes, a la manera de una arquitectura tipo pizarrón [6]. A través de este repositorio, el agente jugador puede conocer cuál es la ficha que tiró el jugador en turno. Además, a lo largo del juego el agente puede tratar de estimar qué fichas poseen los jugadores en sus manos y cuáles son las fichas que pueden bloquearlos.

**Modificación del mundo.** El agente jugador modifica su mundo cuando le es concedido el turno. El agente jugador puede cambiar por completo las estrategias de los jugadores restantes con la ficha que decida tirar. Puede provocar un bloqueo en contra, o favorecer a la pareja contrincante o a su compañero de pareja.

**Identificación de los agentes.** En el juego real por parejas, los cuatro jugadores se sientan alrededor del tablero. Los jugadores que hacen pareja se sientan mirándose de frente. En el caso de los agentes artificiales, este acomodo se puede plantear de manera abstracta numerándolos del 1 al 4. Una pareja de agentes puede ser conformada por aquellos que hayan sido numerados con un número par, y la otra corresponder a los numerados con número impar. De este modo, los números funcionan como etiquetas que ayudan a los agentes jugadores a identificar a su compañero y a los contrincantes.

### 3.3. Control

Una vez que se ha definido el mundo de los agentes del dominó por parejas, existen dos puntos importantes a considerar en el diseño de los agentes: (1) la implementación de un mecanismo de selección de acción y (2) la definición de estrategias de juego. La primera se refiere al proceso de cómo un agente decide qué hacer en un momento determinado del juego, y la segunda establece los lineamientos que influyen en su decisión.

**Selección de acción.** La selección de acción se refiere al proceso que permite a un agente jugador tomar una decisión cuando le es concedido el turno. La selección de acción es la conclusión del ciclo *observar-razonar-actuar*, puesto que los agentes fueron diseñados utilizando las arquitecturas lógicas propuestas por el enfoque clásico de la **IAD-SMA**. Los agentes que llevan a cabo un proceso

de inferencia para la selección de acción, son conocidos como *agentes deliberativos*. Estos agentes cuentan con una base de conocimientos traducida en fórmulas lógicas. Esta base de conocimientos contiene información sobre: (1) su propio estado, (2) el medio ambiente (el tablero) y (3) otros agentes (el resto de los jugadores). De este modo el proceso de selección de acción se reduce a una demostración lógica.

**Estrategias de los jugadores.** Un juego en parejas puede ser jugado de dos formas. (1) De manera individualista o no cooperativa. (2) De manera cooperativa, i.e. aplicando una estrategia que tome en cuenta las acciones de la pareja. Para este trabajo, se diseñó una pareja cooperativa y una pareja no cooperativa compuestas respectivamente de *jugadores cooperativos* y de *jugadores individualistas*.

- *Estrategia no cooperativa.* Cuando le es concedido el turno al jugador cooperativo, este analiza los extremos del tablero para conocer los dos valores que pueden contener las fichas candidatas en uno de sus extremos. Posteriormente, revisa en su juego si tiene una o más mulas que coincidan con alguno de los dos valores, si las hay, entonces se elige la de mayor puntaje. En el caso de no tener mula, entonces se elige el grupo de fichas que contenga alguno de los dos valores posibles pero se elegirá aquella ficha cuyo extremo contrario tenga un mayor número de repeticiones en las fichas restantes del jugador. Si hubiera un empate en las fichas candidatas, entonces se elige la primera candidata que surgió en la búsqueda.
- *Estrategia de pareja: glotón y bloqueador.* Esta estrategia es cooperativa y establece dos tipos de jugadores: (1) un *jugador glotón*, quien tratará de deshacerse de sus fichas. (2) un *jugador bloqueador*, quien tratará de bloquear a los jugadores contrincantes. Cuando el jugador glotón recibe el turno, analiza el tablero para conocer los valores de los extremos, busca entre sus fichas aquellas candidatas, y elige la que sume el mayor número de puntos. El bloqueador por su parte analiza los extremos del tablero y selecciona a partir de ellos las fichas candidatas a tirar. De estas, seleccionará un conjunto de fichas cuyo valor contrario no tienen los jugadores en su juego. Para conocerlo, el agente memoriza durante el transcurso del juego los valores que sus adversarios o su pareja no tienen. De ese conjunto de fichas seleccionado, el jugador elimina todas aquellas fichas cuyo valor contrario no tenga su pareja para evitar bloquearlo. Finalmente, del conjunto restante se elige la ficha de mayor puntaje. Si el conjunto restante fuese vacío, entonces del conjunto anterior se elegiría a la ficha de mayor puntaje. Si desde la primer selección, el conjunto quedara vacío,

entonces se seleccionaría la ficha de mayor puntaje en el conjunto de fichas candidatas original. Cualquiera otra situación conducirá a pasar el turno.

### 3.4. Comunicación

Las reglas del juego prohíben cualquier tipo de comunicación directa entre los jugadores y sobre todo entre las parejas. Por lo tanto, cualquier tipo de comunicación que se establezca entre una pareja debe realizarse de manera indirecta y bajo una ontología o acuerdo preestablecido. Para el caso de los agentes cooperativos, se estableció un acuerdo de comunicación implícita. Este acuerdo les permite conocer quién de los dos jugadores abrirá el juego, si les corresponde a ellos abrirlo, quién tomará la función de glotón y quién la de bloqueador. Además, estos agentes pueden intercambiar funciones cuando el agente glotón ha sumado dos pasos, que pueden ser no consecutivos, durante el juego. La explicación de este intercambio es la siguiente: si un jugador glotón es bloqueado más de una vez, esto implica que se han tirado al menos 2 fichas más en el tablero desde la primera vez que pasó y puede seguir sin oportunidad para tirar. De este modo, como táctica de recuperación, el jugador bloqueador cambia a glotón olvidándose de bloquear al adversario y preocupándose ahora por tirar la ficha más grande, pues hay que recordar que en el caso de un juego cerrado, gana la pareja que sume menos puntos.

**Elección de funciones: glotón o bloqueador.** Para elegir quién inicia el juego, se busca entre los jugadores colaborativos si alguno tiene la mula de 6. Si alguno la tiene, entonces ese jugador iniciará el juego y tomará el papel de glotón mientras el otro toma el papel de bloqueador. Cuando la pareja no abre el juego, entonces se determina quién tiene el mejor juego bajo los siguientes criterios:

1. Aquel jugador que tenga más de dos mulas se convierte automáticamente en glotón. Esto es comunicado al agente compañero sólo al principio del juego a través de una señal que sólo él entiende.
2. Si ambos jugadores tienen el mismo número de mulas, entonces se calculan las frecuencias de todos los valores existentes en las fichas y aquel jugador que tenga la mayor frecuencia de un valor determinado, adquiere el papel de glotón mientras que el otro adquiere el de bloqueador. Esto es comunicado de la misma forma que en el caso anterior.

### 3.5. Torneo de dominó

El torneo de dominó consiste en jugar varios partidos de dominó por parejas. El primer juego es abierto por aquella pareja que tenga la mula de 6. Posteriormente, aquella pareja que gane el juego será la que abra el siguiente, teniendo la libertad de elegir al jugador, miembro de la pareja, que tirará la ficha inicial. La pareja que gana el juego se define por dos criterios: (1) Uno de los miembros se queda sin fichas y (2) el juego se cierra y gana la pareja que sume menos puntos con sus fichas. En cualquiera de los dos casos, se suman los puntos de las fichas de la pareja perdedora y se le otorgan a la pareja ganadora, acumulándose con los puntajes obtenidos en los juegos anteriores. El torneo lo gana aquella pareja que alcance primero los 100 puntos.

## 4. Experimentos

Los agentes se diseñaron bajo el esquema del enfoque clásico de **IAD-SMA**. Se utilizó la lógica de primer orden para representar la base de conocimientos de los agentes jugadores. Bajo este esquema, el lenguaje de programación elegido fue Prolog, que permite el diseño de programas basados en procesos de inferencia. La base de conocimientos, el proceso de selección de acción, así como los procesos de comunicación, se tradujeron en términos de formulas lógicas. Se definió además un agente denominado *facilitador*, responsable de la logística del juego.

Los cuadros 1, 2 y 3 muestran algunas funciones generales escritas en Prolog, las cuales son utilizadas por los tres tipos de agentes que intervienen en el juego. Las funciones del cuadro 1 corresponden al agente facilitador. La función *ajugar* arranca el juego, realizando como tareas iniciales el revolver las fichas o la sopa y repartiendo las 7 fichas o manos correspondientes a cada jugador. Posteriormente se pregunta quién inicia el juego ya sea por que se tiene la mula de 6 o por que es un jugador miembro de la pareja que gano el juego anterior. Después de colocar la ficha en el tablero las rondas de turnos comienzan y para ello la función *rondas* se ejecuta recursivamente hasta finalizar el juego. Los cuadros 2 y 3 presentan, respectivamente, las estrategias para selección de ficha de los agentes jugadores individualistas y cooperativos. La codificación de las funciones corresponde a lo explicado en la sección 3.3.

A continuación se describen aspectos de implementación relativos a la representación del juego, de los agentes jugadores y del agente facilitador.

**Representación del tablero.** La estructura de datos de mayor uso en Prolog son las listas de datos. Así, el tablero fue representado como una lista de fichas en donde a su vez, cada ficha es una lista de dos números que representan los

### Cuadro 1. Funciones del facilitador

```
rondas(Gano,J_Ant,CPasos,Tablero_Act):-
distribuye_Tablero(J_Ant,Tablero_Act),
sig_turno(J_Ant,J_Act),
tira_jugador(J_Act,NGano,Tablero_Act,NTablero),
pasos(J_Actual,Tablero_Act,NTablero,CPasos,NPasos),
rondas(NGano,J_Act,CN,NTablero).
```

```
ajugar:-generar_fichas(Fichas),
reparte_manos(Fichas),
quien_inicia(Jugador),
abrir_juego(Jugador,Tablero_Actual),
rondas(0,Jugador,0,Tablero_Actual).
```

### Cuadro 2. Selección de ficha del agente individualista

```
mejor_opcion(Fichas,Ficha):-
conjunto_mas_grande(Fichas,0,[],0,Conjunto),
evalua_conjunto(Conjunto,Fichas,0,NRes,[],ConjRes,i),
ficha_mayor(ConjRes,0,[],Ficha,i,Ext).
```

```
cual_tirar(_,NMulas,MMayor,MMayor):- NMulas > 0.
cual_tirar(Fichas,0,_,Ficha):- mejor_opcion(Fichas,Ficha).
```

```
mejor_tirada(Fichas,Ficha,NMulas):-
numero_mulas(Fichas,0,NMulas,0,MulaMayor),
cual_tirar(Fichas,NMulas,MulaMayor,Ficha).
```

### Cuadro 3. Selección de ficha del agente cooperativo

```
tirada(0,FichaI,FichaD,Adv,Pareja,Fichas,FichaMax):-
//Agente glotón
encuentra_fichas(FichaI,Fichas,[],FichasN),
ficha_maxima(FichasN,FichaMax).
```

```
tirada(1,FichaI,FichaD,Adv,Pareja,Fichas,FichaMax):-
//Agente bloqueador
encuentra_fichas(FichaIzq,Fichas,[],FichasNC1),
no_contradicen(FichasNC1,Pareja,[],FichasNC2),
contradicen(FichasNC2,Adv,[],FichasNC3),
ficha_maxima(FichasNC3,FichaMax).
```

```
mejor_tirada(Funcion,Fichas,FI,FD,NFicha):-
carga_fichas_pasos_adversarios(Adv),
carga_fichas_pasos_pareja(Pareja),
tirada(Funcion,FI,FD,Adv,Pareja,Fichas,NFicha).
```

valores o puntos de los extremos de la ficha. Por ejemplo, la representación del tablero de la figura 1 bajo esta estructura es: [[2,6],[6,0],[0,1],[1,3],[3,4],[4,6],[6,5],[5,2],[2,3],[3,5]].

**Representación del agente y de las parejas.** Cada agente jugador es un programa escrito en Prolog. Una de sus funciones lógicas recibe como argumento el tablero, del cual se desprende el ciclo *observar-razonar-actuar* y con la que devuelve, en otro de sus parámetros, el tablero después de que colocó la ficha que eligió tirar. Esta función devuelve el mismo tablero si el jugador pasa.

### Cuadro 4. Información obtenida de un torneo

Pareja que Inició	Jugador que Abrió	Pasos P1	Pasos P2	Jugador que Ganó	Puntos P1	Puntos P2	Pareja que Ganó
2	1	2	0	2	0	23	2
1	2	0	2	3	7	0	1
2	3	0	1	3	5	0	1
1	3	3	4	0	12	0	1
1	3	2	2	0	0	16	2
2	2	1	3	4	0	8	2
2	2	1	2	1	12	0	1
1	3	5	5	0	0	16	2
2	2	3	3	0	0	16	2
2	4	0	2	1	12	0	1
1	3	0	3	3	33	0	1
1	1	1	2	3	12	0	1
1	1	2	2	1	2	0	1
1	3	2	2	3	2	0	1
1	1	0	1	1	14	0	1
<b>15 Partidos. Total de puntos: (Vencedor: Pareja 1)</b>					<b>111</b>	<b>79</b>	<b>1</b>
P1: Pareja no cooperativa. P2: Pareja cooperativa							

### Cuadro 5. Datos de 10 torneos efectuados

Pareja Inicio	Num. Juegos	Ganados P1	Ganados P2	Juegos Cerrados	Puntos P1	Puntos P2
2	15	10	5	4	111	79
2	14	7	7	1	90	120
3	7	7	0	1	118	0
1	8	6	2	1	101	31
1	12	8	4	4	118	82
3	16	8	8	0	84	124
4	11	8	3	0	133	50
2	13	8	5	2	121	92
3	17	8	9	1	95	105
2	10	5	5	1	110	67
<b>Total</b>	<b>123</b>	<b>75</b>	<b>48</b>	<b>15</b>	<b>1081</b>	<b>750</b>
P1: Pareja no cooperativa. P2: Pareja cooperativa						

**Agente facilitador.** Es un programa también definido en Prolog que ejecuta y coordina los partidos efectuados entre los agentes jugadores. Su labor es apoyar la organización de los partidos realizando tareas como la asignación de las manos de fichas, la contabilización de los puntos, la asignación de turnos, entre otras.

Los cuadros 4 y 5 muestran resultados del desempeño de los agentes. El cuadro 4 muestra los datos obtenidos de uno de los torneos ejecutados compuesto de 15 partidos entre la

pareja de agentes individualistas y la de agentes cooperativos. Por otro lado, se realizaron 10 torneos para observar el comportamiento de las parejas, cuyos resultados se muestran en el cuadro 5.

## 5. Discusión

Los resultados no fueron los esperados ya que se suponía que los jugadores cooperativos tendrían ventaja sobre los jugadores individualistas.

La estrategia cooperativa suponía una mejor elección de la ficha a tirar, ya que uno de los jugadores se dedicaba a sacar todas sus fichas mientras el otro se enfocaba a bloquear a los adversarios. Los jugadores individualistas, por su parte, se concentraban en sacar todas sus fichas lo más rápido posible cuidando únicamente no guardar fichas con números grandes. La pareja de jugadores individualistas ganó la mayoría de los juegos.

Dos son los aspectos que incidieron en los resultados obtenidos. El primero es que la pareja cooperativa se encontraba jugando contra dos jugadores y no contra una pareja, como si se enfrentaran en un mismo juego dos jugadores contra uno, y la suma de fuerzas se impusiera sobre la táctica.

El segundo aspecto a señalar es que sin duda, la estrategia cooperativa requiere mejoras. El esquema utilizado de exclusividad mutua entre las funciones de glotón y bloqueador es probablemente poco flexible. Si las condiciones del juego así lo requieren, ambos jugadores cooperativos podrían jugar el papel de bloqueadores, por ejemplo. Por otra parte, la comunicación y los acuerdos pre-establecidos de los agentes cooperativos no tienen la riqueza de los utilizados por jugadores reales.

La utilización de estrategias cooperativas no es en sí misma, ventajosa. Una representación cuidadosa que refleje los esquemas de coordinación y de cooperación entre agentes, así como el diseño de mecanismos que les permitan comunicar información relevante -en el caso del dominó de manera indirecta-, son aspectos que inciden de manera determinante en el desempeño de los agentes, como los resultados de esta primera versión del juego lo han evidenciado.

## 6. Consideraciones finales

En este trabajo se ha presentado un juego de dominó por parejas, diseñado e implementado como un sistema multi-agente. El sistema se elaboró siguiendo los principios de la descentralización propuestos en **IAD-SMA**. La teoría del enfoque clásico se utilizó para dotar a los agentes con las capacidades de selección de acción, como parte de sus estrategias locales para realizar la mejor tirada basándose en un proceso lógico deductivo. Por otro lado, el juego en parejas y el juego mismo del dominó, es un comportamiento

emergente de los agentes jugadores que fueron programados sólo para responder a situaciones locales. Esta forma de modelar y simular sistemas resulta interesante y prometedora, y no debe descartarse como opción al momento de estudiar fenómenos complejos.

A futuro se espera implementar una estrategia cooperativa más sofisticada y efectiva que la propuesta en este trabajo. Se buscará combinar los mecanismos de inferencia utilizados con alguna otra técnica para seleccionar la jugada. Por ejemplo, utilizar algoritmos genéticos para buscar una selección local óptima. Por último, se experimentará con juegos en donde ambas parejas utilicen una estrategia de cooperación y así poder comparar distintas estrategias de juego cooperativo.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Diana Tapia, Adriana Hernández, Aurora Morales y Francisco Robles, quienes participaron en el desarrollo y programación del dominó que sirvió como base para este trabajo. Así mismo, agradecen los valiosos comentarios de los revisores anónimos de la versión preliminar de este trabajo.

El primer autor es becario de CONACYT bajo el número de expediente 189903.

## Referencias

- [1] J.S. Rosenchein, G. Zlotkin (1994) Rules of Encounter. Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers. MIT Press.
- [2] A. Drougol (1995) When Ants Play Chess (Or can strategies emerge from tactical behaviors?). *From reactive to recognition*. LNAI No. 957, Castelfranchi C., Müller J.P. (eds), pp. 13-27. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- [3] J.R. Slagle (1971) Artificial Intelligence: The Heuristic Programming Approach. McGraw Hill.
- [4] N.J. Nilsson (1980) Principles of Artificial Intelligence. Tioga Pub.
- [5] M. Wooldridge (2001) Intelligent agents: The key concepts. *Multi-Agent Systems and Applications II*, LNAI No. 2322, Marik V. et al. (eds), pp. 3-43. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- [6] B. Hayes-Roth (1985) A blackboard architecture for control, *Artificial Intelligence*, 26(3), pp. 251-321.