



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica  
Superior d'Enginyeria  
Informàtica

Proyecto Final de Carrera

# JIC: Diseño y desarrollo de un bot inteligente para juegos de estrategia multijugador.

Ingeniería Informática

Autor:

Pablo  
Castejón Navarro

Directora:

Eva Onaindía  
de la Rivaherrera

Valencia - 28 de junio de 2011

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
1.1. Motivación . . . . .	4
1.2. Objetivos . . . . .	4
1.3. Organización del documento . . . . .	5
<b>2. Diplomacy</b>	<b>6</b>
2.1. Tablero y fichas . . . . .	6
2.2. Fases . . . . .	7
2.2.1. Primavera y Otoño . . . . .	7
2.2.2. Verano e Invierno . . . . .	9
2.2.3. Fin de año . . . . .	9
2.3. Entorno DAIDE (Diplomacy AI Development Environment) . . . . .	9
2.3.1. Sintaxis DAIDE . . . . .	10
2.3.2. Servidor . . . . .	11
2.3.3. Bots . . . . .	11
<b>3. Fundamentos</b>	<b>13</b>
3.1. Planificación Distribuida . . . . .	13
3.2. Resolución de Problemas Cooperativos Distribuidos . . . . .	13
3.3. Planificación Multi-Agente . . . . .	15
<b>4. JIC</b>	<b>20</b>
4.1. Diseño . . . . .	20
4.2. Arquitectura . . . . .	20
4.2.1. Módulo de comunicaciones . . . . .	21
4.2.2. Módulo de conocimiento . . . . .	21
4.2.3. Módulo de razonamiento . . . . .	22
4.3. Funcionamiento . . . . .	22
4.3.1. Agentes individuales . . . . .	22
4.3.2. Agente coordinador . . . . .	26
4.4. Ejemplo . . . . .	30
<b>5. Experimentación</b>	<b>37</b>
5.1. Variables . . . . .	37
5.2. Torneos . . . . .	37
5.2.1. JIC contra HaAI Berserk . . . . .	37
5.2.2. JIC contra HaAI Vanilla . . . . .	39
5.2.3. JIC contra DumbBot . . . . .	41
5.2.4. JIC contra todos . . . . .	42
<b>6. Conclusiones</b>	<b>44</b>
<b>7. Trabajo futuro</b>	<b>44</b>

<b>8. Glosario de términos utilizados en Diplomacy</b>	<b>45</b>
8.1. Referente al mapa y las unidades . . . . .	45
8.2. Referente a los movimientos y estados de las provincias . . . . .	46
8.3. Referente a las fases del juego . . . . .	47
8.4. Referente a las ordenes según la fase . . . . .	47
8.4.1. Movimiento . . . . .	47
8.4.2. Retirada . . . . .	47
8.4.3. Ajustes . . . . .	47
Bibliografía	49

## 1. Introducción

### 1.1. Motivación

Crear programas capaces de jugar a juegos de estrategia clásicos como Othello, el Ajedrez, el Risk, el Diplomacy o el Go ha sido un reto desde los comienzos de la inteligencia artificial (IA) [11].

El ajedrez, el Othello o el Backgammon se consideran resueltos en el sentido de haber conseguido programas capaces de vencer a los mejores jugadores. El interés en Diplomacy reside en su clasificación como juego multijugador, simultáneo, de suma cero y con capacidad para la negociación entre jugadores. Esto conlleva que, para cada estado del juego, exista una ramificación de posibilidades inabordable, haciendo de Diplomacy un juego extremadamente difícil de jugar y de analizar, si no es mediante técnicas heurísticas. Por poner un ejemplo, el factor de ramificación del ajedrez para el movimiento de apertura es 20 ( $20^2 = 400$  movimientos para la primera ronda), mientras que para el Diplomacy hay 4.430.690.040.914.420 aperturas diferentes [11]. Estas características hacen de Diplomacy el escenario idóneo para investigar nuevos métodos de búsqueda, planificación, aprendizaje, negociación y confianza en el campo de la IA.

### 1.2. Objetivos

La mayoría de los bots desarrollados hasta la fecha para jugar a Diplomacy utilizan métodos de razonamiento puramente deductivos. El objetivo de este trabajo es desarrollar un bot que, empleando métodos deductivos similares, sea capaz de optimizar el proceso de toma de decisiones ante un estado del juego dado, así como el beneficio conjunto de las decisiones individuales sobre las posibilidades de cada unidad en juego. El bot desarrollado será capaz de jugar a Diplomacy sin negociación, en un modo de juego que no habrá posibilidad de comunicarse entre jugadores ni, por tanto, de formar alianzas.

Se propone una aproximación desde el marco de la resolución de problemas de cooperación distribuida (Cooperative Distributed Problem Solving - CDPS), más concretamente, como un problema de planificación multiagente centralizado, en el que cada agente es capaz de elaborar un plan de acción con la información de que dispone y transmitirlo a un agente que centraliza las tareas de coordinación entre los distintos agentes.

Así pues, cada agente descentralizado se corresponderá con una unidad del jugador. El agente dispone de la información de estado del juego, de modo que extrae la información perteneciente a su entorno inmediato y elabora un conjunto de planes de acción a una o más fases, ordenados por un valor de utilidad en función del posicionamiento estratégico en el tablero de juego.

El agente central (coordinador) es el encargado de solucionar los posibles conflictos entre los planes elaborados por cada agente individualmente. En nuestra propuesta, el coordinador, no solo soluciona los conflictos, sino que realiza una búsqueda por el espacio de planes de los agentes para encontrar la combinación que optimice la utilidad conjunta, o una aproximación sub-óptima que no con-

lleve un tiempo de cómputo excesivo.

### 1.3. Organización del documento

En la sección 2 se hace una introducción al juego de mesa Diplomacy. En la sección 3 se presentan los fundamentos teóricos estudiados para el desarrollo del trabajo. La sección 4 consiste en la explicación del bot desarrollado, su diseño y arquitectura, así como algún ejemplo de funcionamiento. La sección 5 recoge la experimentación realizada para el testeo del bot. A continuación se presentan secciones 6 y 7 que tratan las conclusiones y el trabajo futuro respectivamente. Y por último, la bibliografía y el apéndice A que consiste en un glosario de términos utilizados en Diplomacy.

## 2. Diplomacy

Diplomacy es un juego de estrategia militar multijugador que se enmarca en la Europa de principios de siglo XX y representa a las principales potencias del momento: Rusia, Inglaterra, Alemania, Francia, Italia, Turquía y el Imperio austrohúngaro. Cada uno de los 7 jugadores asume el rol de una de estas potencias y su objetivo es conseguir la supremacía de Europa [16].

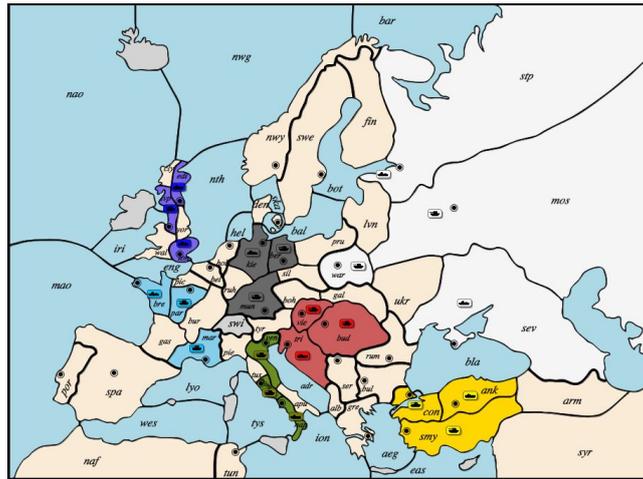


Figura 1: Tablero del juego con las fichas en su posición inicial.

### 2.1. Tablero y fichas

El tablero de Diplomacy se corresponde con el mapa político de Europa de principios del siglo XX. El mapa se encuentra dividido en 75 provincias, 56 de tierra y 19 de mar, tal y como se puede apreciar en la figura 1.

Cada provincia se compone a su vez de una o más regiones, pudiendo ser éstas de dos tipos, marítimas o terrestres. Dependiendo de la configuración regional de una provincia, ésta se puede clasificar en uno de los siguientes tipos:

- **Marítima:** compuesta por una única región marítima.
- **Interior:** compuesta por una única región terrestre.
- **Costera:** compuesta por una región marítima y una terrestre.
- **Bi-costera:** compuesta por una región terrestre y dos regiones marítimas.

Hay dos tipos de fichas, o unidades, en Diplomacy: armada y flota. Todas las unidades tienen la misma fuerza de ataque, la diferencia radica en la posibilidad de desplazamiento sobre el tablero. Las armadas sólo pueden moverse entre regiones terrestres y las flotas sólo entre regiones marítimas. Tan solo se permite una unidad por provincia, independientemente del número de regiones que la compongan.

De las restricciones de desplazamiento para cada tipo de unidad se deduce que las armadas no podrán situarse en provincias marítimas, así como las flotas no podrán situarse en provincias interiores. De modo que, una unidad puede desplazarse por el tablero a las regiones adyacentes del tipo permitido para dicha unidad.

La cantidad y tipo de unidades asignadas al inicio del juego a cada jugador depende de la potencia que representa. Todas las potencias tienen 3 unidades iniciales, excepto Rusia que tiene 4.

Un subconjunto de las provincias del tablero permiten incrementar el número de unidades del jugador, éstas provincias se denominan centros de abastecimiento. El número de centros de abastecimiento que posee un jugador es el número máximo de unidades que puede disponer en un momento dado. Los centros de abastecimiento iniciales tienen la característica especial de permitir la creación de nuevas unidades. El objetivo del juego es llegar a controlar, como mínimo, 18 centros de abastecimiento.

## 2.2. Fases

El juego se divide en años y cada año se divide en 5 fases: primavera, verano, otoño, invierno y fin de año. Las fases de primavera y otoño permiten la negociación previa entre jugadores antes de asignar las acciones a realizar por cada unidad. Las fases de verano, invierno y fin de año son fases de ajuste del juego. En la tabla 1 se muestran los órdenes disponibles en cada una de estas fases.

Fase del juego	Órdenes disponibles
Primavera	Mover, Defender, Apoyar movimiento, Apoyar defensa
Verano	Retirar, Disolver
Otoño	Mover, Defender, Apoyar movimiento, Apoyar defensa
Invierno	Retirar, Disolver
Fin de año	Construir, Eliminar, Prescindir

Cuadro 1: Órdenes en las fases de Diplomacy

### 2.2.1. Primavera y Otoño

Durante la fase de negociación, los jugadores forman alianzas y llegan a acuerdos entre ellos. Estos acuerdos podrán hacerse públicos o mantenerse en secreto. Los jugadores no están obligados a decir nada, pero una buena negociación puede marcar la diferencia entre la victoria y la derrota. En esta fase la comunicación y la confianza son extremadamente importantes para forjar alianzas con los oponentes y garantizar que no nos traicionarán, así como nuestra propia fiabilidad.

Las unidades pueden defender su posición, desplazarse a una región adyacente, apoyar la defensa de las unidades adyacentes en caso de ataque o apoyar

el ataque a una provincia adyacente. Además, las flotas pueden transportar armadas desde una provincia costera a otra formando una cadena que se llama convoy.

Después del período de negociación, los jugadores escriben órdenes secretas para cada unidad, estas órdenes se revelan y se ejecutan de forma simultánea. Las posibles órdenes son:

**Hold (defender)** : La acción  $hold(U,R)$  indica que la unidad  $U$  desea permanecer en la región  $R$ . Esta acción tendrá éxito si ninguna otra unidad ataca, o si en el ataque, el número de unidades apoyando la defensa es mayor o igual al número de unidades apoyando el ataque.

**Move (mover o atacar)** : La acción  $move(U,R_1,R_2)$  indica que la unidad  $U$  que ocupa la región  $R_1$  quiere moverse a o atacar la provincia que contiene la región  $R_2$ . Dependiendo de si la provincia está libre o no, se considerará un simple movimiento o un ataque a otra unidad.

**Mover:** Esta acción puede no tener éxito en caso de que más de una unidad quiera desplazarse a  $R_2$ , en dicho caso la unidad que cuente con mayor número de apoyos se desplazará a  $R_2$ . Si las unidades implicadas en el conflicto de desplazamiento reciben el mismo número de apoyos, ninguna de ellas tiene éxito en su acción, permanecen en las regiones donde se encuentran y la región se marca como punto muerto (standoff).

**Atacar:** Si la provincia de destino está ocupada por otra unidad  $U_2$ , se diferencian dos casos. Si  $U_2$  se mueve con éxito a otra posición, el proceso que se sigue es el mismo que en el caso de mover. Si la unidad  $U_2$  defiende la provincia, ganará la batalla aquella unidad que cuente con mayor número de apoyos. Si  $U_2$  pierde la batalla, queda desplazada y su situación se resolverá en la siguiente fase de retirada.

**Support Hold (apoyar defensa)** : La acción  $suphold(U_1,R_1,U_2,R_2)$  indica que la unidad  $U_1$  situada en la región  $R_1$  apoya a la unidad  $U_2$  en su acción de defender  $R_2$ .  $R_1$  debe ser adyacente a alguna de las regiones contenidas en la provincia a la que pertenece  $R_2$ .

**Support Move (apoyar movimiento)** : La acción  $supmov(U_1,R_1,U_2,R_2,R_3)$  indica que la unidad  $U_1$  situada en  $R_1$  apoya a la unidad  $U_2$  en su movimiento de  $R_2$  a  $R_3$ .  $R_1$  debe ser adyacente a alguna de las regiones contenidas en la provincia a la que pertenece  $R_3$ .

Si una unidad de apoyo es atacada su apoyo se anula, lo que permite que las unidades afecten el resultado de los conflictos en las regiones no directamente adyacentes.

### 2.2.2. Verano e Invierno

En esta fase sólo los jugadores con unidades desplazadas en la batalla, escriben una orden para cada una de sus unidades vencidas. Las órdenes posibles son:

**Retreat (retirada)** : La unidad desplazada debe retirarse a otra provincia que no esté ocupada y que no sea la posición que dejó vacante la unidad que le atacó.

**Disband (disolver)** : Si no hay ninguna posición factible donde una unidad desplazada pueda retirarse, la unidad se disuelve. Si dos unidades se retiran a una misma posición, ambas son disueltas. El jugador puede elegir disolver una unidad en vez de retirarla.

### 2.2.3. Fin de año

Después de cada fase de invierno, los centros de abastecimiento recién adquiridos se convierten en propiedad del jugador que los ocupa, y se recalcula el total de centros de abastecimiento de cada potencia. Los jugadores con menos centros de abastecimiento que unidades en el tablero deben eliminar unidades, mientras que los jugadores con más centros de abastecimiento que unidades en el tablero tienen derecho a construir unidades en sus centros de abastecimiento iniciales, siempre que estén libres. Los jugadores que pierden el control sobre todos los centros de abastecimiento son eliminados del juego, y un jugador se declara el ganador cuando llega a controlar 18 o más de los 34 centros de abastecimiento. Los jugadores también podrán acordar un empate, lo que ocurre cuando se producen estancamientos. Las órdenes de ajuste son:

**Build (construir)** : Se crea una unidad nueva en una de las regiones de entre los centros de abastecimiento iniciales que se encuentre libre.

**Remove (eliminar)** : Se elimina la unidad elegida.

**Waive (prescindir)** : No se hace nada.

Los jugadores hacen públicas sus órdenes en cada una de las fases simultáneamente. Si durante la resolución de alguna de las fases de movimiento ninguna unidad es expulsada de su posición, la siguiente fase de retirada se salta, ya que no queda nada por hacer en ella.

Para más información acerca de las reglas de juego se puede consultar, "*The rules of Diplomacy*" [1].

## 2.3. Entorno DAIDE (Diplomacy AI Development Environment)

En enero de 2002, un grupo de programadores se unieron para desarrollar un entorno en el que varios bots diseñados para jugar a Diplomacy pudieran competir. A este entorno se le llamó *Diplomacy AI Development Environment*

(DAIDE) [2]. Este entorno consiste en un modelo de comunicaciones, un protocolo de comunicaciones y un lenguaje (sintaxis y semántica) en el que se expresan las negociaciones diplomáticas y las instrucciones.

### 2.3.1. Sintaxis DAIDE

La sintaxis DAIDE está dividida en varios niveles representados en la tabla 2. Cada uno de estos niveles incluye todos los niveles previos. La sintaxis para los mensajes de DAIDE esa basada en la estructura y la sintaxis del lenguaje DPP escrito por Danny Loeb en *Diplomacy Programming Project* [13], donde se han introducido una cantidad significativa de cambios para hacerla más potente y consistente.

Nivel	Definición
0	No press
10	Peace and alliances
20	Order proposals
30	Multipart arrangements
40	Sharing out the supply centres
50	Nested multipart arrangements
60	Queries and insinences
70	Requests for suggestions
80	Accusations
90	Future discussions
100	Conditionals
110	Puppets and favours
120	Forwarding press
130	Explanations

Cuadro 2: Niveles de la sintaxis DAIDE

Hay varios términos comunes que se usan en muchos comandos. Estos términos son diminutivos de tres letras del nombre de lo que representan en inglés. Por ejemplo para un juego estándar tenemos:

- **Las potencias:** Imperio Austrohúngaro (AUS), Inglaterra (ENG), Francia (FRA), Alemania (GER), Italia (ITA), Rusia (RUS) y Turquía (TUR).
- **Las provincias:** MarAdriático (ADR), Albania (ALB), Ankara (ANK), Budapest (BUD), Dinamarca (DEN), Finlandia (FIN), Holanda (HOL), Moscú (MOS), París (PAR), Roma (ROM), Serbia (SER), España (SPA), Túnez (TUN), Viena (VIE), etc...
- **Las costas:** Costa norte (NCS), costa este (ECS), costa sur (SCS) y costa oeste (WCS).
- **Las fases del juego:** Primavera (SPR), Verano (SUM), otoño (FAL), invierno (AUT), fin de año (WIN).
- **Los tipos de unidad:** Armada (AMY) y flota (FLT).

### 2.3.2. Servidor

En estos momentos podemos encontrar dos servidores de juego para Diplomacy:

- **AIServer:** Fue desarrollado junto con AImapper por David Norman [15]. AIServer permite jugar en red a varias personas y bots, y también incluye un observador que permite seguir el desarrollo del juego sin participar en él. Está implementado en C++ mediante Microsoft Visual Studio Version 6, con lo que tan solo se puede emplear en Windows.
- **Parlance:** Fue desarrollado por Eric Wald [18], es una plataforma totalmente abierta para jugar a Diplomacy a través de red. Este sistema está desarrollado en Python. También incluye un servidor configurable, varios bots sencillos y un observador.

### 2.3.3. Bots

Existen muchos bots desarrollados para jugar a Diplomacy. A continuación veremos algunos de los más representativos para el nivel 0:

**HoldBot** es el bot más sencillo que se puede implementar, tan solo genera órdenes Hold, por lo que las unidades no se desplazan a otras regiones. Todas las unidades defienden su posición y se disuelven cuando son desplazadas. También prescinde de crear nuevas unidades.

**RandBot** está codificado en tan solo 100 líneas en C++. Su funcionamiento también es muy simple, elige las ordenes de forma aleatoria del conjunto de órdenes disponibles para cada unidad.

**DumbBot** creado por David Norman al igual que HoldBot y RandBot [15] utilizando *the Client Framework*, también desarrollado por él. Está escrito en C++ y compuesto por 1200 líneas de código y a pesar de ser bastante "tonto" mosteó al menos una pequeña capacidad de análisis táctico, que supera la simplicidad de los bots anteriores. Fue el primer bot que logró organizar una oposición efectiva jugando contra humanos y pudo ganar el juego contra ellos. Utiliza un algoritmo simple en el que primero calcula valores para cada provincia de acuerdo a cuatro aspectos:

- La cercanía del territorio a atacar.
- Es un centro de abastecimiento o no.
- Es un territorio libre u ocupado. Si está ocupado se considera el poder del dueño actual.
- Y finalmente, el poder de ataque necesario para conseguir esta provincia ocupada.

Una vez calculados los valores para cada provincia genera las órdenes para sus unidades según los valores obtenidos, tratando de moverse a la que tiene mayor puntuación y de mantenerse allí. Si está ocupada por otra de sus unidades la apoya o si no puede atacarla hace su segunda mejor jugada.

**HaAI** creado por Fredrik Håård [10]. Este bot obtuvo muy buenos resultados en una competición contra DumbBot, DiploBot y Man'Chi. Es un sistema multiagente donde cada unidad es un agente que realiza una evaluación individual del terreno, y se coordina con el resto mediante el protocolo *Contract Net* propuesto por Reid G. Smith [17].

**DiploBot** creado por François McNeil y realiza un análisis táctico en el que no sólo considera las posibles provincias que le podrían beneficiar, sino que además, intenta proteger sus unidades y centros de abastecimiento. Inicialmente, DiploBot identifica las amenazas que le rodean, luego calcula los pesos de cada provincia generando un mapa que un analizador de rutas evalúa, y obtiene una lista de las mejores rutas para cada unidad sin poner en riesgo su terreno. Los criterios que usa el analizador para calcular las rutas óptimas son:

- El valor de la ruta.
- La relación de amenazas/apoyos.
- La prioridad de la amenaza en cada unidad.

Cuando puede crear nuevas unidades busca el centro de abastecimiento inicial vacío que esté más amenazado y crea una nueva armada o flota según la relación entre provincias marítimas y terrestres de las provincias vecinas. Si lo que necesita es retirar unidades, simplemente elige la que esté más alejada de los centros de abastecimiento iniciales.

**Man'Chi** creado por Brian Roberts, cuenta con dos versiones que utilizan estrategias diferentes para ganar el juego:

**AttackBot** elige una provincia vecina al azar y la ataca hasta que la conquista o alguien más le ataca. Si alguien lo amenaza decide atacarlo sin prestar mucha atención a la defensa de sus unidades o centros de abastecimiento.

**DefenseBot** está especializado en metas defensivas con ataques menores sobre su blanco.

Además de los bots anteriores se pueden encontrar algunos más de nivel 0 y de otros niveles en la página web de John Newbury [14]. Esta página web contiene mucha información sobre los bots para Diplomacy, una sección muy interesante es la de los torneos entre bots, donde se puede comparar la efectividad y resistencia de cada uno de ellos.

## 3. Fundamentos

### 3.1. Planificación Distribuida

El problema de hacer planes en un entorno distribuido ha sido abordado en dos direcciones: Una aproximación empezó centrandose en la planificación y cómo puede ser extendida a entornos distribuidos, donde el proceso de formular o ejecutar un plan puede involucrar acciones e interacciones de un número de participantes. La otra aproximación empieza enfatizando el problema del control y coordinación de las acciones de múltiples agentes en un entorno compartido y ha adoptado representaciones de planificación.

Nos referimos a la primera aproximación como planificación cooperativa distribuida (CDP<sup>1</sup>) CDP pone el problema de formar un plan competente (a veces incluso óptimo) como último objetivo. CDP se lleva a cabo por agentes dotados de objetivos y representaciones comunes por un diseñador. Aunque en algunos casos el propósito de los agentes es formar un plan central, el propósito habitual es que las partes distribuidas del plan de desarrollo se ejecuten conjuntamente de forma coherente y efectiva. Así, en CDP, los agentes intercambian información sobre sus planes, la cual refinan iterativamente y revisan hasta que todos concuerdan.

La segunda aproximación, a la que nos referimos como planificación negociada distribuida (NDP<sup>2</sup>) tiene un enfoque diferente. Desde la perspectiva de un agente individual en NDP, el propósito de negociar sobre actividades planificadas no es formar buenos planes colectivos sino asegurar que los objetivos locales de los agentes estarán contemplados en el plan global. El énfasis está, por lo tanto en tener un agente que provea a los demás de suficiente información para convencerlos de que se ajusten a sus preferencias.

### 3.2. Resolución de Problemas Cooperativos Distribuidos

La resolución de problemas cooperativos distribuidos (CDPS<sup>3</sup>) estudia cómo una red de solucionadores de problemas independientes puede trabajar conjuntamente para resolver problemas que van más allá de sus capacidades individuales. Cada nodo individual es capaz de solucionar problemas sofisticados de forma independiente, pero el problema principal que afronta la red no puede ser solucionado sin la debida colaboración.

Los nodos CDPS solucionan un problema de forma cooperativa usando su propia experiencia, recursos e información para solucionar subproblemas y posteriormente, integrar esas soluciones a los subproblemas en una solución global.

Los nodos tienen que afrontar dos restricciones fundamentales:

- (1) las soluciones individuales a los subproblemas deben ser consistentes de manera que la solución global sea consistente, esto conlleva un cierto grado

---

<sup>1</sup>Cooperative Distributed Planning

<sup>2</sup>Negotiated Distributed Planning

<sup>3</sup>Coordinated Distributed Problem Solving

de comunicación y coordinación entre los nodos para llevar a cabo su razonamiento individual.

- (2) la información que un nodo puede comunicar es limitada, por lo que cada nodo debe disponer de un método sofisticado de razonamiento que permita decidir acciones e interacciones.

Cada nodo ha de ser capaz de modificar su comportamiento si las circunstancias cambian y planificar sus estrategias de comunicación y cooperación con otros nodos.

Segun el tipo de objetivos y tareas a realizar por un CDPS, podemos encontrar 5 áreas de aplicación [5]:

**Interpretación Distribuida** . Este tipo de aplicaciones recoge la información distribuida para su análisis de modo que se pueda extraer un modelo semántico de los datos.

**Control y Planificación Distribuida** . Son aplicaciones que pretenden desarrollar y coordinar las acciones de nodos actuadores para la realización de una determinada tarea. En este caso la información se encuentra repartida entre los nodos de modo que cada uno dispone de su propia base de datos, capacidades de planificación y visión del estado del mundo.

**Sistemas Expertos Cooperativos** . Se trata de aplicaciones que combinan el trabajo de múltiples sistemas expertos para la resolución de problemas más complejos.

**Cooperación Humana Asistida por Computador** . Son aplicaciones orientadas a la simplificación de información para la realización de tareas relacionadas con la intervención humana, tales como planificación de horarios, reuniones o el envío de mensajes a las personas adecuadas.

**Modelos de Cooperación Cognitivos** . Aunque no es la más frecuente, también se han realizado aplicaciones que pretenden simular el comportamiento humano a la hora de realizar tareas de coordinación y cooperación.

Entre los objetivos específicos que persiguen los CDPS podemos encontrar:

- Incrementar el factor de creación de soluciones mediante la obtención de soluciones a subproblemas de forma paralela.
- Mejorar el uso de la experiencia de cada nodo individual mediante el intercambio de objetivos, restricciones, soluciones parciales y conocimiento.
- Reducir la gran cantidad de esfuerzo duplicado innecesario permitiendo a los nodos reconocer y evitar actividades redundantes inútiles.
- Incrementar la fiabilidad de las soluciones mediante la revisión y rederivación por parte de otros nodos, aplicando su propia experiencia e información.
- Incrementar el número de soluciones permitiendo a los nodos crear soluciones locales sin ser influenciados por otros nodos.

- Reducir el uso de recursos de comunicación siendo más selectivo a la hora de decidir qué mensajes se intercambian.

Maximizar el cumplimiento de uno de estos objetivos específicos supone perder efectividad en otro de los objetivos. Un control efectivo de una red CDPS requiere un equilibrio adecuado del uso eficiente de las comunicaciones y recursos de procesamiento, alta fiabilidad, sensibilidad para anticipar situaciones, y un criterio específico de la aplicación que determine la calidad de la solución.

El problema subyacente en las redes CDPS es que los nodos han de tomar decisiones sobre sus acciones de resolución y comunicación basadas en visiones locales que pueden ser incompletas, inconsistentes o estar fuera de plazo. Podemos encontrar principalmente 6 categorías de CDPS:

**Negociación** . Se utiliza el diálogo entre los nodos para resolver vistas inconsistentes y llegar a acuerdos de cómo trabajar conjuntamente para cooperar de modo efectivo.

**Cooperación Funcionalmente Ajustada** . Consiste en el intercambio de resultados provisionales para resolver errores y converger a soluciones del problema.

**Estructura Organizacional** . Los agentes usan conocimiento común sobre las funciones para la resolución del problema y los patrones de comunicación para reducir la incertidumbre de los nodos respecto al modo en que deben cooperar.

**Planificación Multi-agente** . Los agentes comparten información para formar un plan de acción conjunta. Este plan se distribuye a todos los agentes para solucionar el problema tratado.

**Control Local Sofisticado** . Los agentes integran el razonamiento sobre las acciones y creencias de otros agentes con la resolución de problemas locales, de modo que las decisiones de coordinación pertenecen a las decisiones locales y no a una capa superior.

**Entornos Teóricos** . Los agentes usan modelos matemáticos y lógicos de los agentes, sus creencias y sus razonamientos para entender las

### 3.3. Planificación Multi-Agente

Aunque los algoritmos de planificación se pueden implementar de diversas formas, un método habitual es interpretar un problema de planificación como un refinamiento sucesivo de un conjunto de soluciones parciales, basado en la teoría de refinamiento de un conjunto de soluciones potenciales [12]. El algoritmo 2 muestra cómo una solución *resultado* se puede obtener de un conjunto de planes parciales *PP*. Cada vez que se ejecuta la función REFINAR, y ninguno de los candidatos mínimos es solución, se escoge una estrategia de refinamiento y se aplica a uno de los planes parciales *P*. Entonces, repetidamente, se selecciona un elemento del conjunto resultante *PP* y se llama recursivamente a la función REFINAR usando este elemento. Una vez que se encuentra una solución, el proceso para y se devuelve el resultado.

**Algoritmo 1** REFINAR( $P, II$ )

---

```

1: Entrada: Un plan parcial  $P$  y el problema  $II$ 
2: Salida: Un candidato mínimo de  $P$  que es solución para  $II$  o “fallo“.
3:
4: if un candidato mínimo  $c$  de  $P$  es una solución para  $II$  then
5:   return  $c$ 
6: else
7:    $resultado := fallo$ 
8:   seleccionar una estrategia de refinamiento  $R$ 
9:    $PP := R(P)$ 
10:  while  $PP \neq \emptyset$  y  $resultado = fallo$  do
11:    seleccionar un elemento  $P_i$  de  $PP$  de forma no determinista
12:     $PP := PP \setminus \{P_i\}$ 
13:     $resultado := REFINAR(P_i, II)$ 
14:  end while
15:  return  $resultado$ 
16: end if

```

---

En el ámbito de los sistemas multi-agente, no solo la planificación es importante<sup>4</sup>, sino que la coordinación tiene un papel clave para evitar conflictos entre dichos planes.

El problema de planificación multi-agente se define como: *Dada una descripción del estado inicial, un conjunto de objetivos globales, un conjunto (al menos dos) de agentes, y para cada agente un conjunto de sus capacidades y sus objetivos privados, encontrar un plan para cada agente que consiga sus objetivos privados, de modo que dichos planes conjuntamente estén coordinados y se alcancen los objetivos globales* [3].

La resolución de los problemas multi-agente se puede estructurar del siguiente modo:

- 1.- Refinar los objetivos globales o tareas en subtareas que puedan ser asignadas a agentes individuales.
- 2.- Asignar las subtareas a los agentes.
- 3.- Definir reglas o restricciones que prevengan a los agentes de producir planes conflictivos.
- 4.- Para cada agente: hacer un plan para conseguir sus objetivos.
- 5.- Coordinar los planes individuales de los agentes.
- 6.- Ejecutar los planes y sintetizar los resultados de las subtareas.

Entre las distintas aproximaciones existentes al problema de la coordinación en planificación multi-agente encontramos:

---

<sup>4</sup>Cada agente individual puede realizar sus propios planes

### Coordinación mediante filtrado

[7] distingue dos aproximaciones a la coordinación multi-agente. (1) *Coordinación explícita* incluye agentes razonando sobre sus interacciones y negociaciones. Un problema con la coordinación explícita es que puede consumir demasiado tiempo, lo que no resulta práctico en dominios altamente dinámicos. (2) Con *coordinación implícita*, los agentes siguen reglas locales de comportamiento que garantizan que los agentes pueden actuar sin preocuparse por interferencias de otros agentes.

**Filtrado multi-agente** es una extensión del *filtrado individual de agentes* que fue una estrategia diseñada para agentes en entornos dinámicos. Un agente usando un filtro individual establece una serie de objetivos. Debido a los cambios en el entorno, surgen oportunidades de tomar acciones adicionales o alternativas. Una estrategia de filtrado elimina las opciones que son incompatibles con el objetivo actual del agente. Una estrategia de filtrado multi-agente evita las opciones que son incompatibles con los objetivos de otros agentes.

Las estrategias de filtrado se pueden aumentar con un mecanismo de anulación. Los mecanismos de anulación se basan en un valor umbral. Un agente audaz no tendrá en cuenta muchas nuevas opciones (tendrá un umbral alto), un agente cauteloso tendrá un valor umbral bajo.

En [8] los autores identifican una única situación de conflicto en su dominio, el *tileworld* multi-agente. En el ámbito de *tileworld*, hay un mapa (malla) que está lleno de azulejos. Objetos (agujeros, baldosas, obstáculos, etc) aparecen y desaparecen dinámicamente y los agentes reciben bonificaciones por tapar los agujeros con azulejos.

Una estrategia de filtrado, el *filtrado estático geográfico*, se basa en la ubicación de los agentes y de los agujeros. Se asigna a los agentes porciones no solapadas del mapa y filtran las opciones de los agujeros rellenos que no están en su región. Usando la estrategia de filtrado *publicación de intenciones*, los agentes deben poner en una pizarra su intención de llenar un hueco. Los agentes evitan opciones de llenar agujeros que otro agente tiene intención de llenar.

### Planificación Global Parcial Generalizada

En la *Planificación Global Parcial* (PGP) [6] los agentes cooperan debido a que ninguno dispone de la información completa. PGP supone un CDPS, donde los agentes están dispuestos a ayudarse unos a otros sin ningún tipo de compensación. Para los entornos de CDPS, Durfee y Lesser identifican cuatro categorías de técnicas de coordinación, que se engloban en PGP.

- 1.- *Contratación*. El proceso de resolución distribuido se contempla como un gran proceso y muchos solucionadores potenciales, como en computación paralela. El objetivo de la coordinación es utilizar los solucionadores de problemas hasta el extremo.

2.- *Intercambio de resultados.* El intercambio de resultados se centra en áreas donde las tareas son inherentemente distribuidas, pero los problemas derivados de un agente pueden estar relacionados con los problemas derivados de otros agentes.

3.- *Organización.* El conocimiento de la organización como, por ejemplo, los roles de los agentes y las responsabilidades pueden ayudar a los agentes a decidir qué tipo de información comunicar a qué agentes.

4.- *Planificación.* La planificación tradicional de la inteligencia artificial distribuida se ha centrado en evitar conflictos de recursos. Si los agentes pueden actuar de forma independiente, la atención se centra en la cooperación.

PGP está orientada a un tipo particular de dominio multi-agente, el de las redes de sensores distribuidos. En su artículo, una red distribuida de sensores acústicos monitorizando el movimiento de los vehículos se utiliza como ejemplo en funcionamiento. El objetivo de esta red es ofrecer una visión coherente de los movimientos del vehículo. Con el fin de hacerlo, los agentes deben interpretar los datos del sensor. Debido a que hay demasiados datos (en particular hay demasiado ruido), analizar exhaustivamente las entradas del sensor no es práctico. Por el intercambio de información, es posible interpretar los datos de forma precisa y oportuna. Más concretamente, las técnicas de coordinación de redes de sensores distribuidos permiten a los agentes: (1) instruir (o proponer) a otros agentes para recoger datos específicos (por ejemplo, controlar un cierto camino), (2) determinar qué información enviar, a quién y cuándo y (3) cooperar de otras maneras, por ejemplo, un agente que no tiene datos propios para interpretar se puede poner a trabajar en el análisis de los datos de otros agentes.

Las redes de sensores dinámicas son entornos altamente dinámicos y se utilizan diferentes técnicas de coordinación PGP en diferentes circunstancias. Sin embargo, si se pretende que el medio es estático, entonces las siguientes 4 técnicas se usan sucesivamente:

1.- *Planificación local.* Un agente hace planes para todas las interpretaciones posibles de sus datos.

2.- *Comunicación con otros agentes.* Para saber qué información enviar a quién y cuándo, PGP utiliza dos tipos de organizaciones. La organización de nivel de tareas define las funciones y responsabilidades de los agentes con respecto a la realización de tareas. La organización de meta-nivel define los roles de autoridad, es decir, algunos agentes pueden dar órdenes a otros agentes.

3.- *Iniciando un Plan Global Parcial.* Para integrar los planes de otros agentes con su propio plan, un agente tratará de relacionar los objetivos de un plan con los objetivos de otro agente. Los objetivos pueden estar relacionados de varias maneras.

4.- *Modificar PGPs.* Si los agentes han recibido o construido un plan global parcial, pueden tratar de mejorarlo usando técnicas tales como la redistribución de tareas y el reordenamiento de tareas. Mediante el envío de un PGP a otros agentes, el agente propone este plan

a los otros agentes. Los demás agentes pueden aceptar los papeles indicados para ellos en el PGP, pueden rechazarlo o enviar una contrapropuesta en forma de PGP modificado.

En el entorno TAEMS (Task Analysis, Environment Modeling, and Simulation), las tareas pueden estar compuestas de subtareas, formando una jerarquía con un nodo raíz llamado *grupo de trabajo*. Varios grupos de trabajo pueden coexistir. Para evaluar el desempeño de una tarea, dos características son importantes, el tiempo transcurrido y la calidad de la ejecución de la tarea. Un agente tiene creencias, cree la parte de la estructura de la tarea global que puede ver. Los agentes pueden comprometerse a realizar las tareas de otros agentes.

Cada agente tiene un planificador local que planifica los recursos computacionales del agente, es decir, el planificador determina las tareas que un agente ejecutará y cuándo. El propósito de los mecanismos de coordinación es asegurar que el planificador local cuenta con la mejor entrada posible que permita la construcción de un programa de gran utilidad. En otras palabras, los mecanismos de coordinación se utilizan para permitir que un agente haga un buen plan.

### Fusionado de planes usando un formalismo

El punto de partida en [4] es que hay dos agentes que tienen planes que se pueden ejecutar sin tener en cuenta los planes del otro agente. En otras palabras, los agentes pueden llevar a cabo sus planes sin necesidad de coordinación. Sin embargo, mediante la cooperación de los agentes se encuentran los planes más eficientes.

Una lógica de recursos se utiliza para representar los planes y acciones. La situación objetivo es disponer de un conjunto de recursos de un tipo de recurso en particular. La situación inicial es también un conjunto de recursos. Los agentes pueden realizar acciones, llamadas capacidades, que consumen recursos y producen recursos. Un plan puede ser representado como un grafo dirigido acíclico, donde los vértices son los recursos y las capacidades y los arcos conectan los recursos con capacidades, para indicar una relación de consumo o de producción.

Un plan puede producir más recursos de lo necesario, si (i) las capacidades producen recursos que no son utilizados por las capacidades posteriores en el plan y los recursos no son necesarios para la meta, o si (ii) los recursos se encuentran presentes en la situación inicial. Estos recursos no utilizados se pueden considerar efectos colaterales de un plan. Otros agentes pueden ser capaces de utilizar estos recursos no utilizados. Aunque todos los agentes ya tienen todos los recursos que necesitan para su plan, mediante la compra de recursos de otros agentes, no es necesario que los produzcan por sí mismos. Más precisamente, si un agente puede comprar todos los recursos útiles que una capacidad produce, entonces esa capacidad puede ser eliminada del plan. La eliminación de una capacidad, a su vez, libera los recursos que se han consumido con anterioridad por la capacidad eliminada, lo que abre posibilidades para el comercio de más recursos.

## 4. JIC

*La Conquista de Valencia por el rey Jaime I, a diferencia de la de Mallorca, fue hecha con un importante contingente de aragoneses. De hecho, en 1231, Jaime I se reunió con el noble Blasco de Alagón y el maestre de la Orden Militar del Hospital en Alcañiz para fijar un plan de conquista de las tierras valencianas. Blasco de Alagón recomendó asediar las poblaciones en terreno llano y evitar las fortificadas. Sin embargo, lo primero que se tomó fueron dos enclaves montañosos: Morella, aprovechando Blasco la debilidad de su gobierno musulmán; y Ares, lugar cercano a Morella tomado por Jaime I para obligar a Blasco de Alagón a que le entregara Morella. La conquista de lo que posteriormente se convertiría en el reino de Valencia comienza en 1232, con la toma de Morella [19].*

JIC es el acrónimo de Jaime I el Conquistador, el nombre designado para el bot desarrollado. JIC está implementado en Java sobre la estructura *Player* del paquete *dip* aportado por Àngels Fabregues [9]. El paquete incluye el módulo de comunicación con el servidor del juego y el modelo del mundo, lo que permite al desarrollador centrarse únicamente en la lógica de razonamiento del bot.

### 4.1. Diseño

Como se comentó en la sección 1.2, JIC pretende ser un bot capaz de jugar al juego Diplomacy sin negociación, por lo que el grado de inteligencia para elaborar estrategias contando únicamente con las unidades propias del jugador, es lo que determinará cuán bueno es en comparación con otros bots existentes (2.3.3).

### 4.2. Arquitectura

La arquitectura de JIC está organizada en tres módulos. Un módulo de comunicaciones *dip* que permite la comunicación con el servidor de juego. Un módulo de conocimiento que está compuesto por dos bloques, el modelo del mundo generado por *dip*, en el que los agentes individuales y el agente coordinador pueden consultar el estado del juego, y una memoria que almacena la acción coordinada seleccionada por el coordinador en la fase de juego anterior a la actual. Y por último, un módulo de razonamiento, que reúne los agentes individuales encargados de realizar planes individuales atendiendo a sus propios objetivos y un agente coordinador que resuelve las incoherencias entre los planes individuales y realiza la coordinación de dichos planes que optimice la consecución del objetivo global. La figura 2 muestra la arquitectura de JIC donde se pueden ver los tres módulos principales con sus componentes y las vías de comunicación entre ellos.

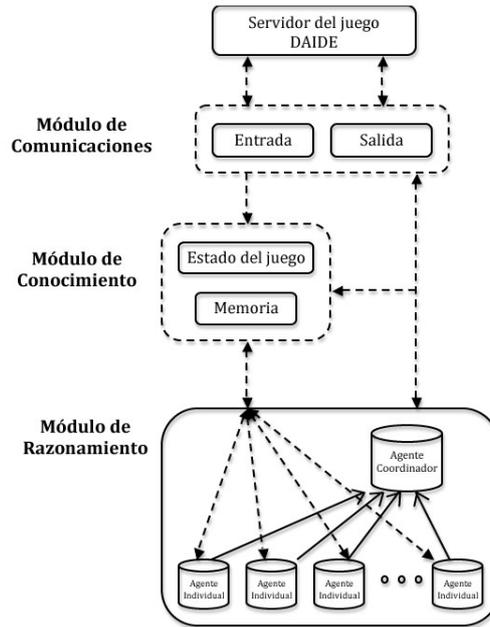


Figura 2: Arquitectura de JIC.

#### 4.2.1. Módulo de comunicaciones

El módulo de comunicaciones se encargará de comunicarse con el servidor del juego, actualizando el modelo del mundo con la información recibida del servidor y enviando al servidor las decisiones tomadas por JIC.

#### 4.2.2. Módulo de conocimiento

El módulo de conocimiento está compuesto por un modelo del mundo generado por *dip* y por una memoria de la fase anterior.

El modelo del mundo contiene toda la información estática del tablero (la composición de las provincias y la adyacencia entre regiones), así como la información dinámica actual del estado del juego (fase actual, situación de las unidades militares y la posesión de centros de abastecimiento)

La memoria almacena la acción coordinada que JIC ha seleccionado en la fase anterior de modo que se pueda emplear, en caso de interbloqueos con las acciones de otras potencias<sup>5</sup>, para obtener una acción coordinada subóptima aplicando un algoritmo pseudoaleatorio. Esta funcionalidad se explica más en detalle en el apartado *fases de interbloqueo* de la sección 4.3.2.

<sup>5</sup>Un interbloqueo se produce cuando las acciones de dos o más potencias persiguen los mismos objetivos sucesivamente sin éxito, debido al equilibrio de las fuerzas que intervienen en las acciones de los agentes.

### 4.2.3. Módulo de razonamiento

El módulo de razonamiento se ha modelizado como un sistema de planificación multi-agente con un agente coordinador, sin llegar a diseñar protocolos de comunicaciones. Dada la naturaleza de la información que se intercambia, no es necesario establecer un protocolo de comunicación.

Cada unidad propia del jugador se corresponde con un agente individual capaz de extraer la información necesaria del modelo del mundo y elaborar un conjunto de planes individuales. Cada agente podrá tener en cuenta las acciones individuales del resto de agentes en la elaboración de dichos planes. De la evaluación de los soportes se encargará el agente centralizado. Una vez elaborados los planes de acción para el estado de juego actual, éstos se envían al agente coordinador.

El agente coordinador es un agente central que recibe los planes de cada agente individual y genera la acción coordinada que será enviada al servidor de juego. La forma en que el coordinador genera la acción coordinada depende de lo avanzado del estado del juego. Principalmente se encarga de resolver los posibles conflictos entre los planes propuestos por los agentes individuales y asignar soportes para optimizar el valor de utilidad de la acción coordinada frente a los valores de utilidad de los planes individuales.

## 4.3. Funcionamiento

Para entender el funcionamiento de JIC hay que profundizar en el razonamiento que realizan tanto los agentes individuales como el agente coordinador. Los agentes individuales realizan fundamentalmente 3 funciones: (1) consultan el estado del juego en el módulo de conocimiento para determinar las acciones que pueden llevar a cabo, (2) evalúa la utilidad de cada acción según unos criterios geográficos y (3) traza una serie de planes individuales que comunica al agente coordinador. Dependiendo del estado del juego y de los planes individuales que los agentes individuales propongan, el agente coordinador empleará un método diferente para seleccionar la acción coordinada: (1) una búsqueda completa por el espacio de planes, (2) búsquedas completas en subconjuntos de planes, (3) selección de los mejores planes individuales y resolución de conflictos o (4) generación pseudoaleatoria sobre una acción coordinada anterior.

### 4.3.1. Agentes individuales

Cada agente individual recibe la información del estado del juego, de la cual extrae la información relevante para el trazado del plan individual, ya sea a 1 fase o a más largo plazo. Esta información se compone de la provincia en la cual se encuentra situado el agente, las provincias adyacentes hasta 2 niveles, las regiones de qué están compuestas y las unidades aliadas y enemigas que pueda haber situadas en dichas provincias. A este conjunto de información lo denominaremos **juego local**.

El resultado del razonamiento de un agente individual es un conjunto de planes individuales ordenados según un valor de utilidad estratégico. Asimismo, se determina las unidades aliadas y enemigas que pueden intervenir en el éxito de cada plan.

En primer lugar, una vez el agente dispone de la información del estado del juego local en el que se encuentra, genera una lista con todas las posibles acciones que puede llevar a cabo individualmente, es decir, defender la posición actual y los movimientos a cada una de las provincias adyacentes a su posición.

La utilidad estratégica de una acción se obtiene mediante la aplicación de un razonamiento deductivo como un valor de posicionamiento geográfico dentro del juego local. Como se comentó en la sección 2.1, hay diferentes tipos de provincias en cuanto a transitabilidad (tierra/mar) y en cuanto a objetivos (centros de abastecimiento). Para la obtención del valor de utilidad se tienen en cuenta dos criterios:

**Tipo de provincia de destino** Es un valor relacionado con las provincias objetivo, de modo que se favorece más aquellas acciones que tengan como destino centros de abastecimiento frente a aquellas que no. Pero a su vez se diferencia entre tipos de centros de abastecimiento, pues no es igual desplazarse a uno propio, que a uno enemigo o a uno neutro, así como el hecho de que sea un centro de abastecimiento inicial de alguna potencia. Los valores asignados se pueden consultar en la tabla 3.

Tipo de provincia	Valor
Centro de abastecimiento inicial enemigo	2.5
Centro de abastecimiento libre	2.5
Centro de abastecimiento inicial propio	2
Centro de abastecimiento	2
Provincia normal	1

Cuadro 3: Valor geográfico por tipo de provincia

**Tipo de provincias adyacentes al destino** Este valor se relaciona tanto con la transitabilidad como con los objetivos. Se trata de maximizar la relación entre conectividad y objetivos futuros, ya que las provincias adyacentes al destino de la acción actual son objetivos potenciales a conseguir en la siguiente fase del juego. El valor se obtiene mediante el sumatorio de la ponderación del número de provincias de cada tipo. Los valores de ponderación se indican en la tabla 4.

Tipo de provincia	Valor
Centro de abastecimiento enemigo	1
Centro de abastecimiento libre	0.5
Centro de abastecimiento propio	0.25
Provincia normal	0.01

Cuadro 4: Valores de ponderación por tipo de provincias adyacentes

Así pues, el valor de utilidad de una acción, es el resultado de la suma de estos dos valores geográficos multiplicado por 100 para situarlo en una escala más adecuada. A la vez que se calcula el valor de utilidad para una acción, se obtiene también el número de aliados y de enemigos que pueden intervenir en el éxito de dicha acción.

Tras la obtención de los valores de utilidad de cada una de las acciones posibles para el agente, se obtiene la lista de planes a seguir según el estado actual del juego local. Estos planes estarán formados por una única acción que puede perseguir objetivos a una fase (acciones) inmediatas, a 2 fases (objetivos a final de año) o bien a más largo plazo.

Podemos diferenciar tres objetivos generales siendo unos más prioritarios que otros:

**Defensivos** Son aquellas acciones que llevan a un agente a recuperar o evitar la pérdida de un centro de abastecimiento. Desde un punto inicial del juego, son los objetivos prioritarios, pues se identifican con la supervivencia de la potencia.

**Ofensivos** Son acciones que conducen a la obtención de centros de abastecimiento, ya sea inmediata o postergadamente. Estos objetivos son los que permiten la expansión y crecimiento de tropas.

**Tácticos** Son acciones de desplazamiento de los agentes para la consecución de objetivos a más largo plazo.

Haciendo un análisis más exhaustivo del tipo de acciones que se corresponden con cada uno de estos objetivos, podemos identificar objetivos específicos y que servirán para determinar los posibles planes de acción del agente:

**Recuperar centro de abastecimiento inicial** . Dentro del conjunto de objetivos defensivos, este es el más crítico, puesto que supone la pérdida de uno de los centros en los que podemos crear nuevas unidades.

**Recuperar centro de abastecimiento en Otoño** . Este objetivo defensivo persigue prevenir la pérdida de un centro de abastecimiento que se encuentre ocupado en la fase de FAL, de modo que no se tenga que disolver una unidad a final de año.

**Obtener centro de abastecimiento** . Este es el objetivo ofensivo más importante, pues se supone la ocupación de un centro de abastecimiento, que no nos pertenece, en Otoño y se pretende defender la posición para adherir el territorio a final de año.

**Desplazarse a centro de abastecimiento** . Son acciones que periguen el desplazamiento en primavera a centros de abastecimiento que no nos pertenecen para su obtención en otoño. Se pueden identificar como planes a 2 fases.

**Desbloquear unidad** . Si se da el caso que un agente se encuentre totalmente rodeado de unidades aliadas, se considera la probabilidad de realizar un desplazamiento exitoso de cada una de estas unidades junto con el valor de utilidad de las acciones que conducen a las provincias en que se envientran. Este es el primer caso de objetivo táctico a tener en cuenta.

**Desplazarse a primera línea** . Si el juego se desarrolla favorablemente, las tropas aliadas se irán alejando de los centros de abastecimiento iniciales, de modo que los juegos locales de los nuevos agentes creados no tendrán ninguna información útil para el trazado de planes. En este caso se requiere de más información, de manera que se pueda determinar de entre todas las acciones de desplazamiento que puede realizar el agente, cuáles conducen al enemigo más cercano en menos fases. En primer lugar se determina la distancia al enemigo más cercano mediante el algoritmo 2 que equivale a una búsqueda en anchura, y posteriormente se trazan aquellas rutas que llegan al enemigo/s más cercano, de modo que se mantendrán aquellas acciones de desplazamiento que no incrementen el coste de llegar al enemigo.

**Atacar enemigo** si la unidad se encuentra en primera línea de ataque y no puede perseguir ninguno de los objetivos anteriores, entonces se trata de desplazar al enemigo adyacente, asumiendo que puede estar bloqueando el acceso a centros de abastecimiento ajenos.

---

**Algoritmo 2** Distancia a primera línea

---

```

1: distance = 0
2: enemy_find = false
3: open = provincias_adyacentes(unit.province)
4: while !enemy_find  $\vee$  n < 20 do
5:   next_open.clear()
6:   while open !=  $\emptyset$  do
7:     if open.first().containsEnemy() then
8:       enemy_find = true
9:       break
10:    else if !open.first().containsAllied() then
11:      next_open.add(provincias_adyacentes(open.first))
12:    end if
13:    open.removeFirst()
14:  end while
15:  if !enemy_find then
16:    distance++
17:    open = next_open
18:  end if
19: end while
20: return distance

```

---

Objetivo específico	Identificador
Recuperar centro de abastecimiento inicial	1
Recuperar centro de abastecimiento en Otoño	2
Obtener centro de abastecimiento	3
Desplazarse a centro de abastecimiento	4
Desbloquear unidad	5
Desplazarse a primera línea	6
Atacar enemigo	7
Sin plan	10

Cuadro 5: Códigos de identificación de los planes de acción

Cada uno de los objetivos específicos descritos se codifica con un número que indica su relevancia, siendo más importante cuanto menor sea el identificador. Estos valores de codificación se ven reflejados en la tabla 5.

El agente individual analiza las acciones de que dispone para tratar de establecer alguno de estos planes por orden de importancia. En caso de establecer algún plan del tipo que sea, el resto de acciones que queden sin asignar a ningún plan se descartan. Si ninguna acción se puede identificar con uno de los planes establecidos se escogen las tres acciones con mayor valor de utilidad y se identifican con un 10.

Al concluir el proceso de razonamiento del agente individual, este dispondrá de una tabla con entradas compuestas por el identificador del agente, el identificador de la acción, su valor de utilidad, el número máximo de enemigos que pueden intervenir, el número de aliados y el identificador del tipo de plan. Cada una de estas entradas es lo que identificaremos como un plan.

ID agent	ID acción	utilidad	enemigo máx	aliados	ID plan
----------	-----------	----------	-------------	---------	---------

Cuadro 6: Contenido de un plan de acción individual

#### 4.3.2. Agente coordinador

El agente coordinador recibe los conjuntos de planes propuestos por cada agente individual y, dependiendo de lo avanzado que se encuentre el estado del juego, se utiliza un método u otro en la generación de la acción coordinada que se enviará al servidor de juego.

#### Fases iniciales

Se consideran fases iniciales aquellas en que el jugador no dispone de más de 7 unidades. La acción coordinada tiene que cumplir una serie de restricciones que se detallan en la tabla 7.

---

No puede haber desplazamientos a provincias con una unidad haciendo Hold
Dos unidades no se pueden desplazar a la misma provincia
No puede haber desplazamientos a provincias con unidades realizando soportes
Una acción no puede recibir más soportes que los que garanticen el éxito
Una unidad no puede dar soporte a acciones inexistentes
Una unidad no puede dar soporte a acciones que tienen como destino su posición

---

Cuadro 7: Restricciones a cumplir por una acción coordinada

Alguno de los conjuntos de planes propuestos por los agentes individuales puede estar compuesto únicamente de un único plan, lo que en caso de ser el mismo plan para varios de los agentes, puede conducir a que la rigidez de las restricciones evite la generación de posibles acciones coordinadas; típicamente, esto sucede cuando el número de agentes con dicho plan individual único supera el número de soportes necesarios para el éxito de la acción.

A continuación se genera toda la combinatoria posible con el espacio de planes individuales sin tener en cuenta las restricciones, así como todas las posibilidades de soportes de acciones para realizar una búsqueda completa que permita obtener la acción coordinada óptima para el estado del juego. La optimalidad de una acción depende de una función de bondad que evalúa la utilidad de la acción coordinada en base a los valores de utilidad geográfica y del tipo de cada plan individual que conforma la acción coordinada. La función de bondad es como sigue:

$$\frac{\sum u_i}{n^{\circ}unidades} * \sum k_i$$

Siendo  $u_i$  la utilidad geográfica del plan  $i$  y  $k_i$  el tipo del plan. Los valores  $v_i$  pueden verse modificados en los siguientes casos:

- Se descuenta el valor de tipo de provincia de aquellas acciones que no pertenecen a ningún plan, es decir, que tengan tipo 10.
- Se incrementa el valor de las acciones de soporte sobre planes de los tipos 1 y 2. Con este incremento se consigue bonificar la acción conjunta entre agentes frente a la realización de planes individuales. El incremento debido a cada soporte es un valor ponderado del valor de utilidad promedio de los planes que conducen a la obtención de centros de abastecimiento. El factor de ponderación es el número de soportes que recibe el plan entre el número máximo de enemigos que pueden interferir en el plan.

Si dos acciones coordinadas tienen el mismo valor de utilidad coordinada se prioriza aquellas que tengan menor valor acumulado de los tipos de planes incluidos en la acción coordinada.

En caso de no encontrar ninguna acción coordinada posible que satisfaga las restricciones, se genera una acción coordinada con el plan individual de cada agente con mayor valor de utilidad asociado. Los posibles conflictos entre los planes seleccionados por desplazamientos a la misma provincia se solucionan manteniendo uno de los planes y asignando a los demás agentes con dicho plan como soportes.

### Fases avanzadas

Se consideran fases avanzadas del juego aquellas en que se cuenta con al menos 8 unidades. Estos estados del juego se caracterizan por un distanciamiento de las unidades respecto de los centros de abastecimiento iniciales formando, en general, frentes continuos de unidades que actúan como una ola. De lo anterior se desprende que las zonas más próximas a los centros de abastecimiento iniciales no tienen ningún interés a corto plazo y las unidades de nueva creación generarán planes de tipo 6 o 10.

Por otro lado, el incremento del número de unidades supone el incremento del número de planes individuales recibidos, haciendo que la combinatoria crezca exponencialmente, por lo que no es viable realizar el mismo procedimiento que en las fases iniciales del juego. La solución adoptada se basa en la generación de planes coordinados para subconjuntos del espacio de planes.

Los subconjuntos se han generado atendiendo a la distribución típica de las unidades por el tablero de juego en estas fases:

- **Frente de batalla.** En este conjunto se incluyen aquellos planes de tipo 1 a 4. Las acciones de estos planes tienen repercusión inmediata sobre el estado del juego o, a lo sumo, a dos fases, lo que resulta de interés para consolidar la victoria llegados a este punto. Por ello también se relajan las restricciones permitiendo la asignación de más soportes de los necesarios con el fin de ganar los centros de abastecimiento restantes para acabar el juego.
- **Planes tácticos.** Aquí se agrupan los planes que tienen como objetivo desplazarse o atacar al enemigo más cercano, lo cual resulta de interés para poder cerrar los huecos dejados por el cordón desplegado en el frente o enfrentar a posibles unidades enemigas que hayan conseguido rebasarlo.
- **Sin planificación.** En este conjunto quedan las unidades que, sean armada o flota, no pueden realizar ninguna acción que obedezca a alguno de los planes establecidos, lo que se corresponde con unidades aisladas que no pueden alcanzar ninguna provincia adyacente a un enemigo.

Hechos los subconjuntos se procede con cada conjunto de la misma forma que en las fases iniciales, con la salvedad de aquellos casos en los que algún conjunto supere una longitud máxima de planes del mismo tipo, en cuyo caso se evalúa el conjunto con el método explicado al final del apartado de las fases iniciales.

La acción coordinada final será el resultado de juntar las acciones coordinadas parciales formadas tras la evaluación de cada subconjunto. Cabe destacar que esta acción coordinada no podrá tener inconsistencias debido al carácter disjunto de los conjuntos establecidos.

### Fases de interbloqueo

Durante el desarrollo del juego, es posible que las unidades aliadas y enemigas se distribuyan de tal manera que persigan los mismos objetivos. Si las unidades aliadas reciben el mismo soporte que las enemigas ninguna acción tiene éxito y el estado del mundo permanece igual. Las fases que presentan esta configuración de unidades se denominan **fases de interbloqueo**.

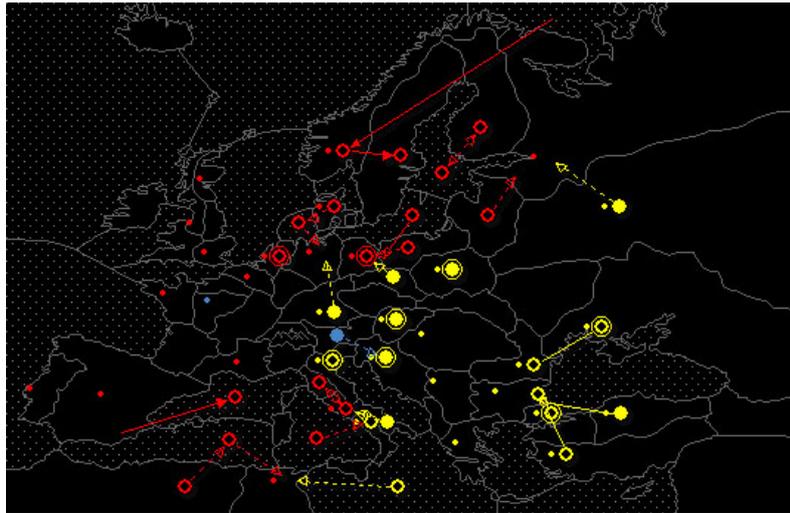


Figura 3: Interbloqueo de JIC jugando con Turquía.

En la figura 3 se puede apreciar como las unidades de ambas potencias, Inglaterra (rojo) y Turquía (amarillo), dominan una parte del mapa. Los puntos indican las provincias que son centros de abastecimiento, los círculos vacíos son flotas y los círculos rellenos armadas. La situación de interbloqueo se produce entre las unidades que se encuentran en la franja que separa las dos potencias. Los objetivos que persiguen las unidades de ambas potencias son los mismos, pero ninguna de las potencias puede (o quiere) asignar más soportes de forma que se rompa el equilibrio de poder sobre una provincia.

Las fases de interbloqueo conllevan que ninguno de los jugadores aumente su número de centros de abastecimiento, por lo que la partida podría no tener fin. Debido a esto, los jugadores pueden establecer un límite de años sin que ninguna de las potencias varíe en el número de centros de abastecimiento propios. Transcurrido dicho límite la partida finaliza en un empate entre las potencias supervivientes.

Así pues, estas fases de interbloqueo suponen dos problemas:

- Cálculo innecesario de las combinaciones de planes para el mismo estado del mundo fase tras fase.
- Alta probabilidad de empate si los bots no son capaces de variar su comportamiento.

Con el objetivo de solucionar estos problemas, JIC dispone de una *memoria* en la que almacena la acción coordinada que seleccionó en la fase anterior del juego. El agente coordinador puede consultar dicha memoria para obtener las acciones realizadas por los agentes involucrados en el interbloqueo y evitar rehacer el cálculo para dichos agentes. De este modo se soluciona el primero de los problemas.

Sin embargo, en aras de reducir las probabilidades de empates, se ha dotado al agente coordinador de la capacidad para variar el conjunto de acciones de las unidades implicadas en el interbloqueo de forma semi-aleatoria.

Las acciones de las unidades implicadas en un interbloqueo pueden pertenecer a planes de los tipos:

**Tipo 2** . Estas acciones solo aparecerán en la primera fase de interbloqueo, puesto que en la siguiente fase el centro de abastecimiento dejará de pertenecernos y el plan cuyo objetivo sea dicho centro de abastecimiento será de tipo 4.

**Tipo 3** . Al igual que en el caso anterior, tan solo aparecerá en la primera fase de interbloqueo. Se corresponde con una unidad situada en un centro de abastecimiento en Otoño que realiza el soporte insatisfactorio de otra unidad, por lo que en la siguiente fase el centro de abastecimiento pasa a ser propio y el plan de acción de la unidad será de tipo 4.

**Tipo 4** . Es el tipo de plan que prolonga los interbloqueos.

De modo que para tratar de solucionar los interbloqueos se varía el número de soportes o las unidades que realizan soporte de forma aleatoria y consistente. El número de variaciones será como mínimo de una y hasta un máximo del 30 % de las unidades en interbloqueo.

No siempre es posible realizar variaciones en el conjunto de acciones, claro ejemplo de ello es aquél en que las unidades no son adyacentes.

#### 4.4. Ejemplo

A continuación se va a mostrar el funcionamiento de JIC en una partida preparada. La partida se ha dispuesto de modo que JIC efectúe el papel de Turquía, un usuario el papel de Inglaterra y las demás potencias bots del tipo HaAI Berserk. La intervención humana en la partida tiene como objetivo preparar las diferentes situaciones del juego que contempla el razonamiento de JIC para demostrar su comportamiento.

Como se mostró en la sección 2, la situación inicial es la que se puede ver en la figura 4

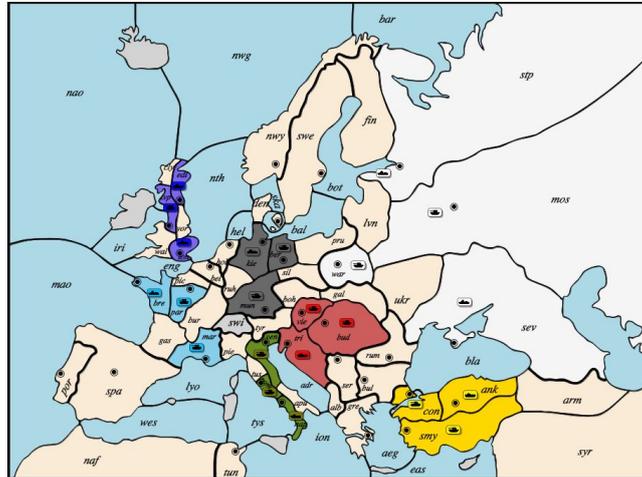


Figura 4: Primavera de 1901.

Al inicio JIC dispone de 3 unidades, dos armadas y una flota, situadas en Constantinopla, Smyrna y Ankara respectivamente. Cada unidad (agente individual) genera una lista con sus acciones posibles y calcula el valor de utilidad de cada acción.

CON	Utilidad	SMY	Utilidad	ANK	Utilidad
Defender	227	Defender	252	Defender	227
Mover a BUL	351	Mover a SYR	126	Mover a BLA	351
Mover a ANK	225	Mover a CON	300	Mover a ARM	226
		Mover a ANK	251	Mover a CON	302
		Mover a ARM	251		

Cuadro 8: Acciones disponibles y valor de utilidad en primavera de 1901.

A continuación cada agente individual evalúa las acciones para estudiar sus objetivos potenciales y elaborar así sus planes individuales. De modo que cada agente forma los siguientes planes que comunica al agente coordinador:

CON	ID Plan	SMY	ID Plan	ANK	ID Plan
Mover a BUL	4	Mover a ARM	6	Mover a BLA	6
				Mover a ARM	6

Cuadro 9: Planes individuales de los agentes en primavera de 1901.

Para más detalles del tipo de los planes se puede consultar la tabla 5.

El agente coordinador recibe los planes de cada agente individual y los inserta en una tabla como la de la figura 10. Los identificadores de acciones hacen referencia al número de acción disponible para el agente individual con el identificador asociado. Los identificadores de acciones pueden ser desde 0 hasta el número de acciones disponibles para el agente, así la acción 4 para SMY es *Mover a ARM*.

ID agente	ID acción	utilidad	Enemigo máx	aliados	ID plan
CON	1	351	0	0	4
SMY	4	251	1	1	6
ANK	1	351	1	0	6
ANK	2	226	1	1	6

Cuadro 10: Base de datos de planes individuales en el agente coordinador.

Con estos planes individuales el agente coordinador realiza toda la combinatoria posible sin soportes, lo que resulta en 2 combinaciones:

Combinación 1	Combinación 2
Mover CON a BUL	Mover CON a BUL
Mover SMY a ARM	Mover SMY a ARM
Mover ANK a BLA	Mover ANK a ARM

Con la generación de soportes surgen dos nuevas acciones coordinadas posibles:

Combinación 3	Combinación 4
Mover CON a BUL	Mover CON a BUL
Mover SMY a ARM	SMY apoya a ANK
ANK apoya a SMY	Mover ANK a ARM

De las 4 combinaciones generadas, la combinación 2 no cumple las restricciones 7, por lo que es eliminada. A continuación se evalúa el valor de utilidad de cada acción coordinada y se selecciona la acción coordinada óptima. En este caso, el agente coordinador ha determinado que la Combinación 3 es la mejor opción con un valor de utilidad coordinada de 1427 y tipos de planes 9<sup>6</sup>. Finalmente el agente coordinador envía la acción coordinada al servidor del juego.

Tras la ejecución de las acciones de cada potencia el estado del juego es como se muestra en la figura 6. En la imagen se puede apreciar que las acciones de los tres agentes han sido satisfactorias, consiguiendo, en caso de los desplazamientos, llegar a sus objetivos.

Nuevamente se ejecuta el proceso de razonamiento por parte de los agentes individuales y el agente coordinador teniendo como resultado el plan coordinado siguiente:

Defender BUL  
Mover ANK a BLA  
Mover ARM a SEV

<sup>6</sup>Este valor se determina sumando el identificador de cada plan de la acción coordinada previa inversión en la escala de identificadores de modo que los identificadores más bajos supongan valores más altos. En el caso de los soportes se toma el identificador de la acción soportada

En este caso la acción de Bulgaria es de tipo 3, que persigue consolidar la adhesión del centro de abastecimiento para poder crear una nueva unidad al final del año.

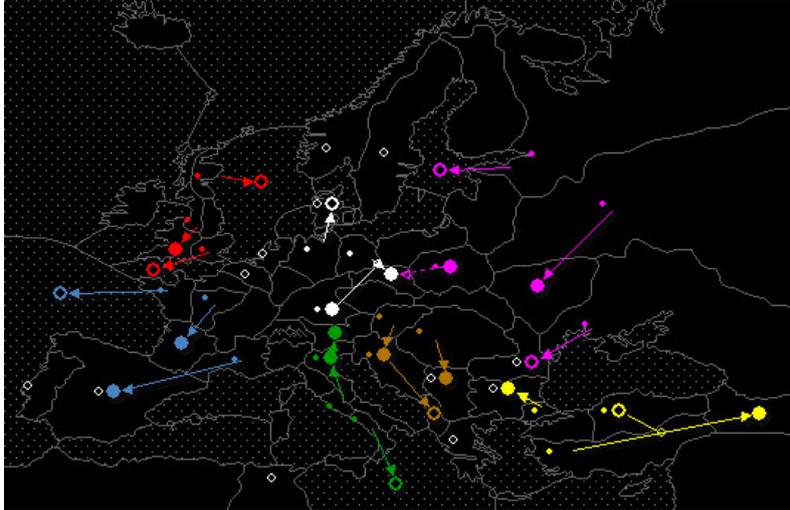


Figura 5: Otoño de 1901.

Avanzando un poco hasta el otoño de 1905, vemos como JIC comienza a expandirse tratando de no dejar huecos entre sus filas de modo que ningún enemigo pueda penetrar en la zona próxima a sus centros de abastecimiento iniciales. En esta fase se consigue mediante la acción coordinada de Rumanía y Bulgaria el desplazamiento a Serbia la que a final de año pasará a formar parte del territorio de JIC.

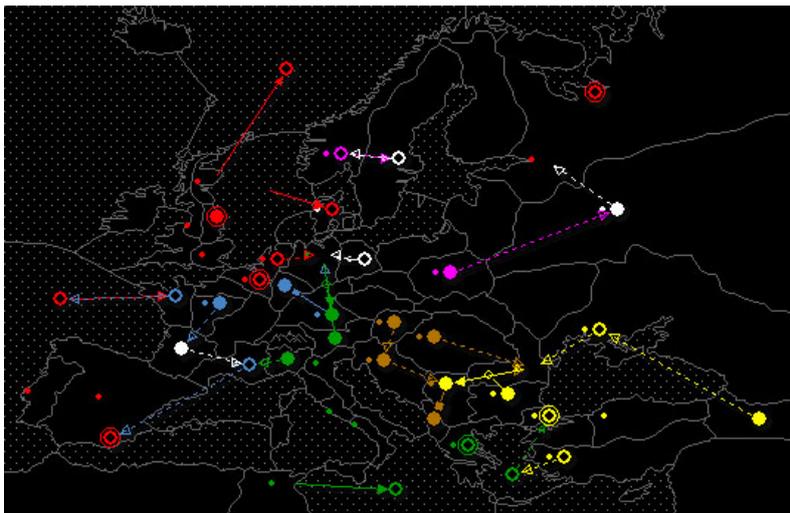


Figura 6: Otoño de 1905.

Durante las sucesivas fases se ha tratado de favorecer con las acciones de Inglaterra el avance de Turquía para llegar a una situación de interbloqueo.

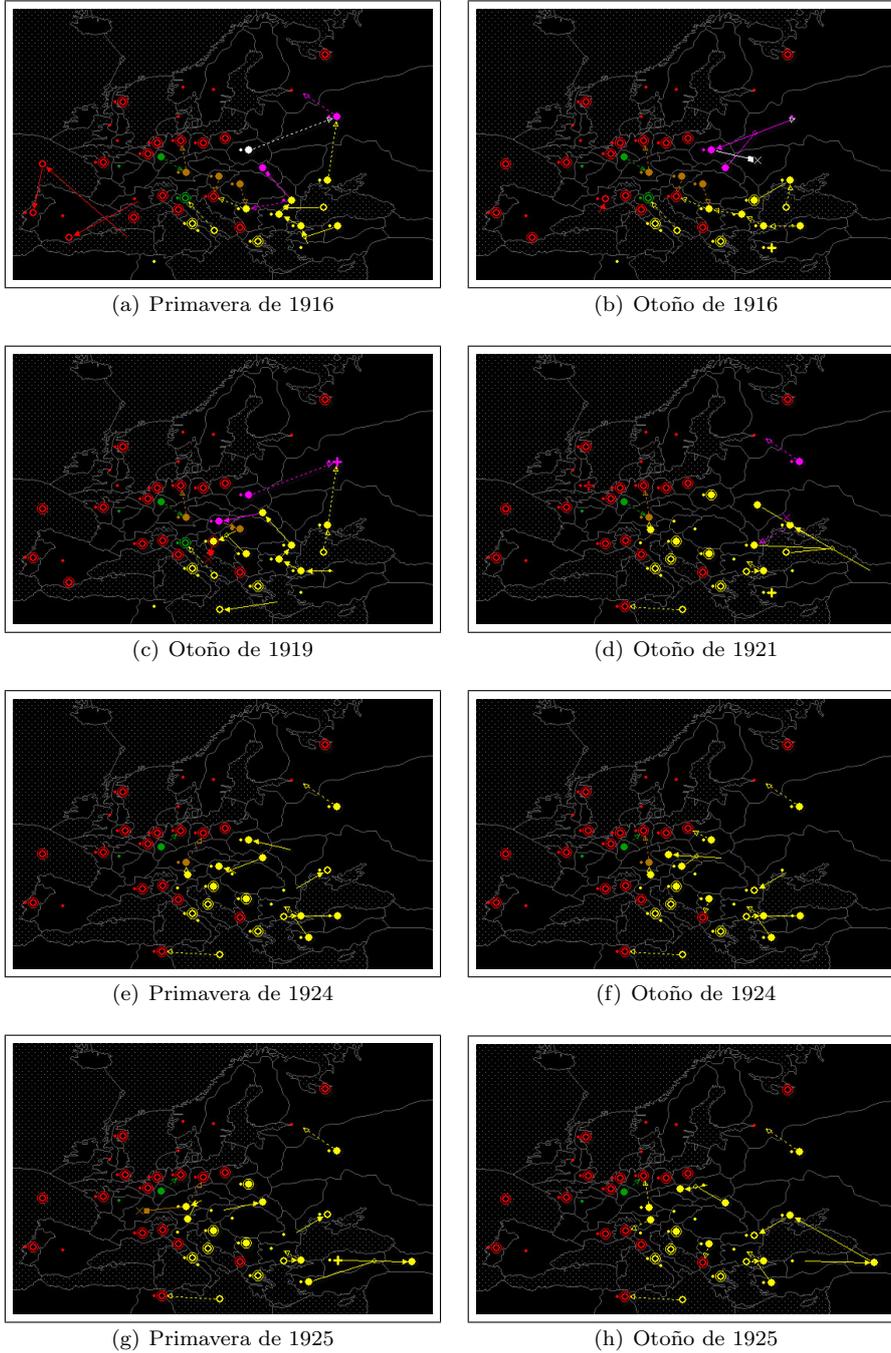


Figura 7: Secuencia de fases hasta el interbloqueo.

Llegados a este punto, la primavera del 1926, Turquía dispone de 17 centros de abastecimiento, Inglaterra de 16 y de las restantes potencias tan solo permanece Italia con un centro de abastecimiento. Desde que Turquía consiguió 8 centros de abastecimiento en el año 1912, el agente coordinador está utilizando el método de las particiones de planes individuales. En la situación actual, los planes individuales que se insertan en la primera partición, los de mayor interés, son los de las unidades situadas en el Mar Jónico (ION), Múnich (MUN), Silesia (SIL) y Moscú (MOS), todas ellas con planes de tipo 4.

Tras la evaluación de las posibles acciones coordinadas, el agente coordinador envía al servidor la acción coordinada:

```
Mover ION a TUN
Mover MUN a KIE
Mover SIL a BER
Mover MOS a STP
... 7
```

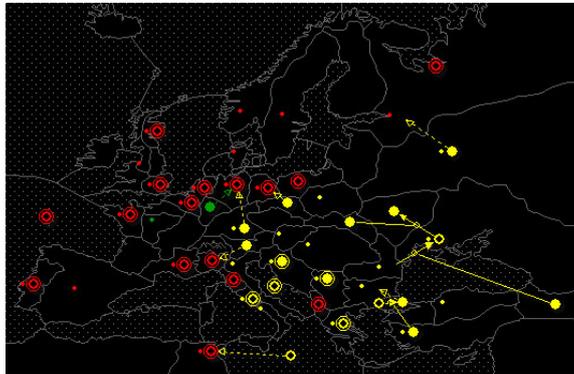


Figura 8: Primavera de 1926.

Las unidades de Inglaterra son flotas en su totalidad, por lo que no pueden penetrar en provincias terrestres, lo mejor que pueden hacer es permanecer en sus posiciones costeras defendiendo los centros de abastecimiento. Dado que estas acciones han fallado, en la siguiente fase el agente coordinador las recupera de la memoria y realiza una variación en la acción de Múnich para que apoye la acción de Silesia, consiguiendo de este modo desplazar a la unidad de Inglaterra de la provincia de Berlín, solucionando el interbloqueo y ganando la partida.

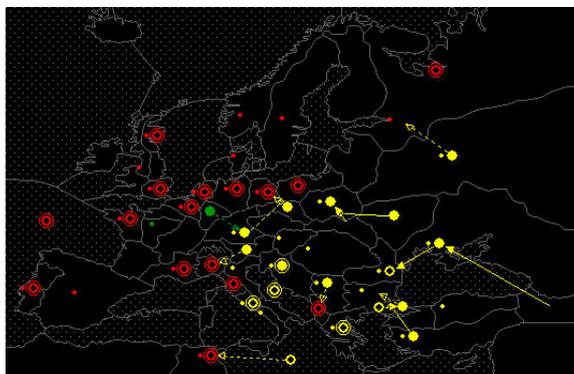


Figura 9: Otoño de 1926.

## 5. Experimentación

### 5.1. Variables

Para la realización de los experimentos se han tenido que asignar valores a ciertas variables que determinan el comportamiento de JIC. Estos valores se pueden consultar en la tabla 11.

Número máximo de acciones sin plan permitidas por unidad	2
Número máximo de unidades en fases iniciales	7
Número máximo de unidades con el mismo tipo de plan en un subconjunto	8
Valor máximo de incremento de la utilidad de los soportes	500
Porcentaje de unidades en interbloqueo que deben variar su acción	0.3

Cuadro 11: Variables de JIC

### 5.2. Torneos

Se han realizado una serie de torneos a 100 partidas variando el tipo y número de los bots participantes para obtener una visión general de la efectividad del bot desarrollado.

#### 5.2.1. JIC contra HaAI Berserk

En un primer torneo hemos enfrentado a 3 bots de tipo JIC contra 4 bots de tipo HaAI. La versión de HaAI empleada es la Berserk, que se corresponde con un comportamiento más agresivo del bot. Los resultados se pueden observar en la tablas 12 y 13

Potencia	Jugado	Ganado	Sobrevivido	Eliminado
Rusia	38	0	16	22
Alemania	47	7	17	23
Austria	44	4	20	20
Turquía	49	27	15	7
Francia	42	13	24	5
Inglaterra	33	2	22	9
Italia	47	6	16	25

Cuadro 12: Resultados por potencia de JIC

Potencia	Jugado	Ganado	Sobrevivido	Eliminado
Rusia	62	2	30	30
Alemania	53	1	22	30
Austria	56	3	13	40
Turquía	51	3	39	9
Francia	58	15	35	8
Inglaterra	67	9	52	6
Italia	53	5	27	21

Cuadro 13: Resultados por potencia de HaAI Berserk

Potencia	Victoria	Supervivencia	Victoria	Supervivencia
	JIC	JIC	HaAI	HaAI
Rusia	0 %	42 %	3 %	50 %
Alemania	15 %	43 %	2 %	42 %
Austria	9 %	50 %	5 %	25 %
Turquía	55 %	68 %	6 %	81 %
Francia	31 %	83 %	26 %	81 %
Inglaterra	6 %	71 %	13 %	90 %
Italia	13 %	39 %	9 %	56 %

Cuadro 14: Estadísticas por potencia contra HaAI Berserk

Para el cálculo de los porcentajes de supervivencia se han descontado las partidas ganadas, por lo que el complementario del porcentaje hace referencia a aquellas partidas en que la potencia ha sido eliminada.

De la tabla 14 hay que destacar 3 cosas. (1) La primera es el elevado factor de partidas ganadas por JIC cuando ha desempeñado el papel de Turquía, no sólo destaca sobre las ganancias con las otras potencias, sino que también presenta un margen considerable con los resultados de HaAI. (2) JIC presenta mejores resultados en general con Italia, Francia, Turquía y Alemania, mientras que las potencias destacables de HaAI son Francia e Inglaterra. (3) A pesar de valores notorios de supervivencia, JIC presenta una menor capacidad de supervivencia en general. Sin embargo, como se puede apreciar en la tabla 15, el número promedio de unidades de JIC que sobreviven al final de las partidas es mayor en algunos casos. El caso de Turquía nuevamente sobresale sobre los demás, indicando que muchas de las partidas iban camino de convertirse en victorias para JIC. Inglaterra tiene la desventaja de tener que acceder al Mar Mediterráneo para alcanzar la victoria, en caso contrario solo puede alcanzar un total de 14 centros de abastecimiento. De modo que los valores mostrados sugieren el dominio total de la costa nor-occidental del mapa por parte de Inglaterra en algunas partidas, sufriendo un bloqueo en España, impidiendo su acceso a la victoria.

Potencia	Supervivientes	Supervivientes
	JIC	HaAI
Rusia	4,13	3,87
Alemania	4,71	2,59
Austria	3,85	2,54
Turquía	8,13	4,79
Francia	3,63	4,89
Inglaterra	5,86	6,56
Italia	3,19	4,04

Cuadro 15: Promedio de unidades supervivientes

A continuación se muestran las estadísticas promediadas del resultado del juego de JIC. El porcentaje de victorias se ha calculado como la suma de victorias (independientemente de la potencia) dividido por el número de partidas

total. El porcentaje de supervivencia es el resultado de promediar los porcentajes de la tabla 14. El número de unidades es el promediado de las unidades supervivientes de la tabla 15 para cada bot.

	<b>Victoria</b>	<b>Supervivencia</b>	<b>Unidades</b>
<b>JIC</b>	59 %	57 %	4,78
<b>HaAI</b>	37 %	61 %	4,18

Cuadro 16: Estadísticas de JIC contra HaAI Berserk

Si se suman los porcentajes de victorias de cada bot se puede apreciar que no se llega al 100 %. El 4 % restante hace referencia a las partidas que han terminado en empate y por lo tanto no hay ningún ganador. El bajo porcentaje de empates indica que se ha conseguido resolver un mayor número de interbloques.

A la vista de los resultados expuestos, se puede afirmar que en un torneo entre ambos bots, JIC y HaAI Berserk, el comportamiento del primero tiene mejor resultado que el del segundo, consiguiendo un mayor número de victorias y unas tasas de supervivencia similares.

### 5.2.2. JIC contra HaAI Vanilla

Este torneo tiene las mismas características que el anterior, salvo por la versión del bot HaAI utilizada. La versión Vanilla se caracteriza por ser más defensiva que el Berserk. Los resultados del torneo de 100 partidas son los siguientes:

<b>Potencia</b>	<b>Jugado</b>	<b>Ganado</b>	<b>Sobrevivido</b>	<b>Eliminado</b>
Rusia	44	2	17	25
Alemania	48	1	9	38
Austria	42	2	19	21
Turquía	43	23	19	1
Francia	34	10	21	3
Inglaterra	50	4	39	7
Italia	39	4	15	20

Cuadro 17: Resultados por potencia de JIC

<b>Potencia</b>	<b>Jugado</b>	<b>Ganado</b>	<b>Sobrevivido</b>	<b>Eliminado</b>
Rusia	56	1	39	16
Alemania	52	1	34	17
Austria	58	2	20	36
Turquía	57	3	50	4
Francia	66	13	51	2
Inglaterra	50	2	46	2
Italia	61	2	37	22

Cuadro 18: Resultados por potencia de HaAI Vanilla

Potencia	Victoria JIC	Supervivencia JIC	Victoria HaAI	Supervivencia HaAI
Rusia	5 %	40 %	2 %	71 %
Alemania	2 %	19 %	2 %	67 %
Austria	5 %	48 %	3 %	36 %
Turquía	53 %	95 %	5 %	93 %
Francia	29 %	88 %	20 %	96 %
Inglaterra	8 %	85 %	4 %	96 %
Italia	10 %	43 %	3 %	63 %

Cuadro 19: Estadísticas por potencia contra HaAI Vanilla

Los porcentajes de supervivencia de supervivencia de HaAI se han visto incrementados considerablemente, mientras que los porcentajes de victoria para ambos bots ha decrecido. Esto es debido en parte al comportamiento defensivo de la versión Vanilla, pero como se verá en la tabla 21, el elevadísimo número de empates producidos también está relacionado.

Resulta interesante que JIC haya conseguido la victoria en dos ocasiones pese al carácter más defensivo de Vanilla<sup>8</sup>. Pese al decremento generalizado de los porcentajes de victoria de JIC, se mantienen las proporciones entre potencias, siendo más favorable la actuación con Turquía y Francia que con las demás.

Potencia	Supervivientes JIC	Supervivientes HaAI
Rusia	4,12	3,90
Alemania	4,44	5,03
Austria	2,58	3,05
Turquía	10	5,66
Francia	5,05	5,69
Inglaterra	5,64	6,46
Italia	3,53	3,57

Cuadro 20: Promedio de unidades supervivientes

	Victoria	Supervivencia	Unidades
<b>JIC</b>	46 %	60 %	5,05
<b>HaAI</b>	24 %	74 %	4,76

Cuadro 21: Estadísticas de JIC contra HaAI Vanilla

Hay que destacar que en este experimento el número de empates alcanzados sobrepasa enormemente al de los demás experimentos. En total se ha llegado a 30 empates, frente a los 4 empates contra Berserk, 5 contra DumbBot o los obtenidos contra todos los bots.

<sup>8</sup>Puesto que en el torneo contra la versión Berserk de HaAI no se alcanzó en ninguna ocasión, ver tabla 12.

Como se puede ver en la tabla 21 la superioridad de JIC en un enfrentamiento directo con la versión Vanilla del bot HaAI es más que evidente, alcanzando prácticamente el doble de victorias.

### 5.2.3. JIC contra DumbBot

En esta ocasión hemos utilizado 3 bots tipo JIC y 4 bots de tipo DumbBot versión 8.

Potencia	Jugado	Ganado	Sobrevivido	Eliminado
Rusia	44	2	18	24
Alemania	42	2	19	21
Austria	49	8	25	16
Turquía	43	23	14	6
Francia	39	9	26	4
Inglaterra	39	0	35	4
Italia	44	3	23	18

Cuadro 22: Resultados por potencia de JIC

Potencia	Jugado	Ganado	Sobrevivido	Eliminado
Rusia	56	2	22	32
Alemania	58	2	20	36
Austria	51	5	14	32
Turquía	57	16	30	11
Francia	61	11	36	14
Inglaterra	61	9	47	5
Italia	56	4	18	34

Cuadro 23: Resultados por potencia de DumbBot

Lo más destacable de este experimento respecto de los anteriores es la notoria mejora en el comportamiento con Austria

Potencia	Victoria JIC	Supervivencia JIC	Victoria DumbBot	Supervivencia DumbBot
Rusia	5 %	43 %	4 %	41 %
Alemania	5 %	48 %	2 %	36 %
Austria	16 %	61 %	10 %	30 %
Turquía	53 %	70 %	28 %	73 %
Francia	23 %	87 %	18 %	72 %
Inglaterra	0 %	90 %	15 %	90 %
Italia	7 %	56 %	7 %	35 %

Cuadro 24: Estadísticas por potencia contra DumbBot

Potencia	Supervivientes	Supervivientes
	JIC	DumbBot
Rusia	3,44	2,36
Alemania	2,95	1,90
Austria	4,12	2,00
Turquía	7,00	6,30
Francia	3,04	2,86
Inglaterra	8,94	8,30
Italia	3,52	2,33

Cuadro 25: Promedio de unidades supervivientes

Al igual que ocurría en el experimento 5.2.2 el número de supervivientes promedio de JIC con Inglaterra y los porcentajes de Dumbbot con Francia, Italia y Turquía, dejan ver que nuevamente ha sufrido el bloqueo al Mar Mediterráneo.

	Victoria	Supervivencia	Unidades
<b>JIC</b>	47 %	65 %	4,72
<b>DumbBot</b>	48 %	54 %	3,72

Cuadro 26: Estadísticas de JIC contra DumbBot

Aunque los resultados obtenidos de la experimentación son similares para ambos bots, la inferioridad numérica de JIC hace más meritorios sus resultados que los de DumbBot.

#### 5.2.4. JIC contra todos

El último de los torneos realizados pretendía observar el comportamiento de JIC en un entorno más variable, por lo que se ha enfrentado a los 3 bots anteriores simultáneamente. Se han realizado 4 rondas de 100 partidas, en las que uno de los bots se encontraba en inferioridad numérica, esto es, en cada ronda había dos bots de cada tipo menos uno que se encontraba solo.

En estos experimentos se va a mostrar únicamente los porcentajes de victoria, supervivencia, número de supervivientes y duración de cada una de las rondas. La última columna de las tablas 27 a 30, *duración*, hace referencia al año promedio en que cada bot alcanza la victoria en cada una de las rondas. Éste último valor puede indicar lo buenas que son las soluciones alcanzadas por cada bot a largo plazo, es decir, aquellos bots que presentan un menor valor de *duración* han trazado planes con un coste temporal menor llevando a conseguir el objetivo global del juego.

#### 1 JIC, 2 Berserk, 2 Vanilla y 2 DumbBot

	Victoria	Supervivencia	Unidades	Duración
<b>JIC</b>	14 %	65 %	4,95	1919
<b>Berserk</b>	27 %	78 %	3,59	1927
<b>Vanilla</b>	22 %	84 %	4,53	1932
<b>DumbBot</b>	29 %	47 %	3,20	1930

Cuadro 27: Estadísticas con JIC en inferioridad

**2 JIC, 1 Berserk, 2 Vanilla y 2 DumbBot**

	<b>Victoria</b>	<b>Supervivencia</b>	<b>Unidades</b>	<b>Duración</b>
<b>JIC</b>	36 %	58 %	4,54	1927
<b>Berserk</b>	14 %	78 %	4,66	1926
<b>Vanilla</b>	16 %	74 %	4,43	1934
<b>DumbBot</b>	23 %	50 %	4,36	1931

Cuadro 28: Estadísticas con HaAI Berserk en inferioridad

**2 JIC, 2 Berserk, 1 Vanilla y 2 DumbBot**

	<b>Victoria</b>	<b>Supervivencia</b>	<b>Unidades</b>	<b>Duración</b>
<b>JIC</b>	34 %	63 %	4,08	1926
<b>Berserk</b>	26 %	73 %	4,15	1931
<b>Vanilla</b>	5 %	68 %	4,80	1961
<b>DumbBot</b>	28 %	44 %	3,92	1926

Cuadro 29: Estadísticas con HaAI Vanilla en inferioridad

**2 JIC, 2 Berserk, 2 Vanilla y 1 DumbBot**

	<b>Victoria</b>	<b>Supervivencia</b>	<b>Unidades</b>	<b>Duración</b>
<b>JIC</b>	32 %	64 %	5,03	1934
<b>Berserk</b>	20 %	63 %	4,53	1923
<b>Vanilla</b>	19 %	78 %	4,27	1953
<b>DumbBot</b>	14 %	38 %	3,21	1924

Cuadro 30: Estadísticas con DumbBot en inferioridad

Los resultados de las 4 rondas del torneo se resumen en la tabla 31.

	<b>Victoria</b>	<b>Supervivencia</b>	<b>Unidades</b>	<b>Duración</b>
<b>JIC</b>	29 %	62,5 %	4,65	1926.5
<b>Berserk</b>	21,75 %	73 %	4,23	1926.75
<b>Vanilla</b>	15,5 %	76 %	4,51	1945
<b>DumbBot</b>	23,5 %	44,75 %	3,67	1927.75

Cuadro 31: Resumen de estadísticas conjuntas

Los resultados obtenidos demuestran que ante entornos más dinámicos con la presencia de múltiples bots (y sus métodos de razonamiento), el comportamiento de JIC resulta satisfactorio, obteniendo un porcentaje de victorias superior al de los demás bots. Por otro lado, aunque JIC no presenta el mayor porcentaje de supervivencia, sí que tiene el mayor promedio de supervivientes, lo que indica que, en general, JIC era el candidato más probable a conseguir la victoria en aquellas partidas que terminaron con la victoria de otro bot. Por último, cabe destacar que la duración promedio de las partidas victoriosas de JIC, es menor que las de los otros bots, lo cual se puede entender como una mejor planificación a largo plazo, obteniendo mejores resultados con un menor coste temporal.

## 6. Conclusiones

Se ha desarrollado un bot llamado JIC que es capaz de jugar a Diplomacy sin negociación. La implementación se ha desarrollado desde el enfoque de la *Planificación Distribuida*, más concretamente la *Planificación Multi-agente*, dotando a JIC de una arquitectura basada en agentes, con una serie de agentes planificadores individuales y un agente coordinador.

Los métodos de razonamiento proporcionados al agente coordinador, junto con la planificación individual de los agentes individuales, ha conseguido reducir el espacio de búsqueda de planes coordinados hasta el punto de obtener soluciones óptimas o subóptimas en tiempos razonables.

En la experimentación se ha comprobado su superioridad, en general, en enfrentamientos directos en inferioridad numérica y en entornos más dinámicos con la presencia de múltiples tipos de bots. Aunque no demuestre la misma capacidad de supervivencia que otras aproximaciones, el promedio de supervivientes indica un desarrollo favorable de las partidas, consolidándose JIC como uno de los potenciales candidatos a alcanzar la victoria.

## 7. Trabajo futuro

El funcionamiento del bot desarrollado depende en gran medida de ciertos valores asignados en su razonamiento deductivo, por ejemplo, en los valores de utilidad geográfica de las acciones de los agentes individuales. Se podría hacer un estudio de los valores que incrementasen el rendimiento de JIC.

Otro punto fundamental es la clasificación de las acciones en tipos de planes estratégicos. Se podría incrementar el tipo de planes que un agente individual puede realizar, así como las prioridades entre tipos de planes.

Un enfoque más en la línea de la inteligencia artificial sería realizar una aproximación inductiva al modelado de oponentes. De este modo, JIC podría tener en cuenta las acciones de los oponentes en la toma de decisiones, incrementando así la probabilidad de éxito de los planes coordinados.

Una de las líneas futuras de trabajo está enfocada a la negociación entre las distintas potencias, un módulo de comunicaciones permitiría realizar alianzas que incrementasen sus opciones de acción. Adicionalmente se requeriría de un módulo de confianza para distinguir las potencias en las que se puede confiar y tomar decisiones de traicionar o mantener los acuerdos.

## 8. Glosario de términos utilizados en Diplomacy

### 8.1. Referente al mapa y las unidades

**Power (o Great Power):** Cada una de las potencias que representan los jugadores. Son Austria, Inglaterra, Francia, Alemania, Italia, Rusia y Turquía.

**Army:** Unidad terrestre que solo puede moverse por las provincias interiores, costeras y bicosteras.

**Fleet:** Unidad marítima que solo puede moverse por las provincias marítimas, costeras y bicosteras.

**Strength:** Nivel de fuerza aplicada de una unidad equivalente a la cantidad de soportes que recibe más uno.

**Boundarie:** Frontera entre provincias. Hay de dos tipos: las que separan provincias y las que separan las Grandes Potencias que suelen estar marcadas

**Supply Center:** 34 de las provincias del mapa son centros de abastecimiento. Están marcadas con un punto y el objetivo del juego es conseguir 18.

**Home Supply Center:** Centros de abastecimiento dentro de las fronteras de una Gran Potencia. Por ejemplo, Viena, Budapest i Trieste son home supply centers de la potencia de Austria.

**Region:** Concepto que representa la posición concreta de una unidad en una provincia. Por ejemplo, España tiene 3 regiones, la Costa Norte, la Costa Sur y el Interior.

**Inland provinces:** Las provincias de interior como París (Par) tienen solo una región. Esta región puede ser controlada solo por unidades de tipo armada (army), por lo tanto, cuando decimos que una potencia controla esta región, entenderemos que la potencia tiene una armada en la región.

**Sea provinces:** Las provincias de mar como Mar del Norte (Nth) tienen solo una región. Esta región puede ser controlada solo por unidades de tipo flota (fleet), por lo tanto, cuando decimos que una potencia controla esta región, entenderemos que la potencia tiene una flota en la región.

**Coastal provinces:** Las provincias de costa como Roma (Rom) tienen dos regiones. Cada región puede ser controlada por un tipo de unidad diferente. tendremos una para flotas y otra para armadas. Cuando una potencia controla alguna de las regiones de una provincia de costa, podremos saber el tipo de unidad que tiene mirando que de tipo es la región controlada.

**Bicoastal provinces:** Las provincias con dos costas como España (Spa) tienen tres regiones: una para armada y dos para flotas. Las regiones para flotas serán una para cada costa.

## 8.2. Referente a los movimientos y estados de las provincias

**Inconsistent movement:** Un movimiento es incompatible, y por tanto, se cancela, cuando no se puede realizar por alguna acción externa o porque entra en conflicto con otros movimientos.

**Standoff:** Una provincia queda *standoff* durante la fase de retirada si durante la fase de movimiento anterior estaba desocupada y diversas unidades intentaban ir con la misma cantidad de fuerza (*strength*).

**Ring Attack:** Sucede cuando 3 o más países se atacan entre sí formando una especie de anillo que comporta solo moverse y no batallar. Por ejemplo, un ataque Gascony-Marseilles; Marseilles-Burgundy; Burgundy-Gascony sería considerado como un ataque en anillo. Un *ring attack* se puede desmantelar si una unidad externa al anillo ataca a alguno de los países y consigue derrotarlo.

**Head-to-head battle:** Batalla entre 2 países sin interferencia de un tercero.

**Balanced head-to-head Battle:** Batalla equilibrada entre dos unidades, es decir, las unidades que intervienen tienen la misma fuerza (*strength*).

**Unbalanced head-to-head Battle:** Batalla desequilibrada entre dos unidades donde las fuerzas de los que intervienen son diferentes.

**Weaker/Stronger unit:** En una *unbalanced battle*, siempre hay una unidad débil (*weaker*) y una fuerte (*stronger*).

**Target province:** Provincia (ocupada o desocupada) que es el objetivo de una unidad en otra provincia que quiere conquistarla. Es decir, hay una unidad que ha recibido la orden de moverse hacia ella.

**Control:** Acción de controlar, tener el control de una región o provincia. Se controla una provincia cuando se controla alguna de sus regiones. Una región se controla cuando esta ocupada por una unidad.

**Own:** Acción de poseer. Se dice que una región pertenece a una potencia cuando alguna de sus unidades ha sido la última en controlarla.

**Adjacency:** Función que devuelve la lista de regiones hacia donde una unidad situada en una determinada región puede ir.

**Countryman:** Sucede cuando una unidad intenta atacar a otra unidad de la misma potencia. También sucede cuando una unidad apoya un ataque contra una unidad de su misma potencia.

**Bounce:** Una unidad ha estado *bounced* cuando ha sobrevivido a un ataque.

**Dislodgement:** Sucede un *dislodgement* cuando durante una fase de movimiento una unidad ha sido atacada con suficiente fuerza como para ganarle. La unidad que se defendía queda *dislodged* y deberá recibir una orden durante la siguiente fase de retirada.

### 8.3. Referente a las fases del juego

**SPR:** Fase de movimiento de primavera.

**SUM:** Fase de retirada de verano.

**FAL:** Fase de movimiento de otoño.

**AUT:** Fase de retirada de invierno.

**WIN:** Fase de ajustes de fin de año .

### 8.4. Referente a las ordenes según la fase

#### 8.4.1. Movimiento

**HLDOOrder (hold):** Defender o mantener la posición.

**MTOOrder (move to):** Mover o atacar una región adyacente.

**SUPOrder (support):** Apoyar a una unidad adyacente a defender su posición.

**SUPMTOOrder (support to move to):** Apoyar a una unidad que quiere atacar una región adyacente a ambas.

#### 8.4.2. Retirada

**DSBOrder (disband):** Eliminar la unidad que se encuentra en dislodgement en la región indicada.

**RTOOrder (retreat to):** Retirar la unidad que se encuentra en dislodgement en la región indicada a la región de destino.

#### 8.4.3. Ajustes

**BLDOOrder (build):** Crear una nueva unidad en la región indicada.

**REMOOrder (remove):** Eliminar la unidad que se encuentra en la región indicada.

**WVEOrder (waive):** No hacer nada.

## Referencias

- [1] Allan B. Calhamer. The rules of diplomacy, 2000.
- [2] DAIDE. Diplomacy ai center. <http://www.daide.org.uk/index.xml>, 2002.
- [3] Mathijs de Weerdt, Adriaan ter Mors, and Cees Witteveen. Multi-agent planning: An introduction to planning and coordination. In *Handouts of the European Agent Summer School*, pages 1–32, 2005. A journal paper with an updated overview has been published in 2009: Introduction to Planning in Multiagent Systems. *Multiagent and Grid Systems An International Journal* 5(4):345-355.
- [4] Mathijs M. de Weerdt, Andre Bos, Hans Tonino, and Cees Witteveen. A resource logic for multi-agent plan merging. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence special issue on Computational Logic on Multi-Agent Systems*, 37(1–2):93–130, 2003.
- [5] M.E. desJardins and M. Wolverson. Coordinating a distributed planning system. *AI Magazine*, 20(4):45–53, 1999.
- [6] Edmund H Durfee. Organizations, plans, and schedules: An interdisciplinary perspective on coordinating ai agents. *Journal of Intelligent Systems*, 3(2-4):157–187, 1993.
- [7] Eithan Ephrati, Martha E. Pollack, and Sigalit Ur. Deriving multi-agent coordination through filtering strategies, 1995.
- [8] Eithan Ephrati and Jeffrey S. Rosenschein. Multi-agent planning as the process of merging distributed sub-plans. In *In Proceedings of the Twelfth International Workshop on Distributed Artificial Intelligence (DAI-93)*, pages 115–129, 1993.
- [9] A. Fabregues and C. Sierra. Diplomacy game: the test bed. *PerAda Magazine, towards persuasive adaptation*, pages 1761–2009, 2009.
- [10] F. Haard. Multi-agent diplomacy. Master’s thesis, Department of Software Engineering and Computer Science Blekinge Institute of Technology, 2004.
- [11] Stefan J. Johansson. On using multi-agent systems in playing board games. In *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, AAMAS ’06, pages 569–576, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [12] Subbarao Kambhampati. Refinement planning as a unifying framework for plan synthesis. *Ai Magazine*, 18:67–97.
- [13] D.E. Loeb. Challenges in multi-player gaming by computers. *The Diplomatic Pouch Zine, S1995M*, 1995.
- [14] John Newbury. Ai in the game of diplomacy. <http://johnnewbury.co.cc/diplomacy/index.htm>, 2010.
- [15] David Norman. David’s diplomacy ai page. <http://www.ellought.demon.co.uk/dipai/>, 2003.

- [16] E. G. Romero. Planificación estratégica para el juego diplomacy. Master's thesis, Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Universidad Politécnica de Valencia, 2011.
- [17] R.G. Smith. The contract net: A formalism for the control of distributed problem solving. In *Proceedings of the 5th international joint conference on Artificial intelligence- Volume 1*, page 472. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1977.
- [18] Eric Wald. A framework for playing the diplomacy board game over a network. <http://sourceforge.net/projects/parlance/>, 2008.
- [19] Wikipedia. Jaime i de aragón — wikipedia, la enciclopedia libre, 2011. [Internet; descargado 28-junio-2011].

## Informe Director de Proyecto Final de Carrera Informe Director de Proyecto Final de Carrera

### Dades del Projecte/Datos del Proyecto

Tipus/Tipo: A  Departament/Departamento B  Projectes específics/Proyectos específicos  
C  Empreses o Universitats/Empresas o Universidades  
Títol/Título: JIC: Diseño y desarrollo de un bot inteligente para juegos de estrategia multijugador  
Titulació/Titulación: Ingeniero en Informática  
Nom de l'alumne/Nombre del alumno: Pablo Castejón Navarro

### A emplenar pel Director del Projecte / A cumplimentar por el Director del Proyecto

Eva Onaindia de la Rivaherrera, director del projecte/director del proyecto, ..... codirector del projecte,/codirector del proyecto, autoritzen la persona interessada perquè sol·licite ser avaluada per tribunal i adjuntem el següent informe./autorizamos a la persona interesada para que solicite ser evaluada por tribunal y adjuntamos el siguiente informe.

València, ..28 de ....Junio..... de 2011.

### Informe del PFC / Informe del PFC

El presente trabajo final de carrera se enmarca en el contexto del proyecto de investigación CONSOLIDER "Agreement Technologies", en el que el grupo GTI-IA (Grupo de Tecnología Informática- Inteligencia Artificial) de la UPV colabora, entre otros, con el IIIA (Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial) del CSIC. El objetivo prioritario del proyecto CONSOLIDER es el diseño e implementación de técnicas sociales en contextos multiagente (negociación, argumentación, toma de decisiones colectivas, etc.), y uno de los entornos en los que el CSIC está experimentando dichas técnicas es en el juego Diplomacy, principalmente la aplicación de técnicas de negociación multiagente. Para poder experimentar dichas técnicas en Diplomacy, se hacía necesario disponer previamente de un bot propio capaz de jugar a Diplomacy y que cumpliera una serie de características. El bot que se ha desarrollado en este PFC (JIC) responde a un modelo de resolución cooperativa de problemas distribuidos que facilitará la posterior inclusión de técnicas de negociación multiagente. JIC es un bot que sigue un razonamiento puramente deductivo, al estilo de algunos otros bots existentes en la literatura, y que muestra una gran capacidad de supervivencia en el juego, característica fundamental para poder incorporar luego técnicas de negociación entre diferentes jugadores. Es más, los experimentos demuestran que el bot JIC supera en rendimiento al resto de bots, siendo el que más victorias consigue en torneos mixtos donde han competido todos los bots más relevantes para el juego Diplomacy. La realización de este trabajo ha permitido al alumno Pablo Castejón Navarro iniciarse en el tema de investigación de Planificación en Inteligencia Artificial, Planificación distribuida y Coordinación de planificación en Sistemas multiagente.

Pablo Castejón Navarro ha disfrutado de una beca durante la realización del PFC y continuará su trabajo con la incorporación del bot JIC en una plataforma multiagente. Actualmente, se está preparando una publicación del trabajo realizado que se enviará a una revista.