

## **2. INTERACCIÓN Y COOPERACIÓN**

La capacidad de interacción es un rasgo básico de los agentes que componen un sistema multiagente. Gracias a esta característica los agentes toman contacto entre sí y con el medio en el que se encuentran inmersos, posibilitándose así la emergencia de inteligencia social en el sistema.

Para poder entender el funcionamiento y las distintas dimensiones de los sistemas multiagente es fundamental conocer los conceptos de interacción y cooperación tal y como se dan en dichos sistemas multiagente.

### **2.1 Situaciones de interacción**

El agente, tal y como se concibe en Inteligencia Artificial Distribuida, es una entidad proactiva que está inmersa en el mundo que le rodea, interactuando con su entorno y el resto de agentes de la sociedad de la que forma parte. Las interacciones son la base para la emergencia de comportamientos de elevada complejidad.

Se muestran, a continuación, un estudio de las posibles situaciones de interacción que pueden aparecer en un sistema multiagente.

#### **2.1.1 Definición de interacción**

El concepto de interacción es un aspecto central de los sistemas multiagente.

Una interacción tiene lugar cuando dos o más agentes, por medio de una serie de acciones recíprocas, confluyen en una relación dinámica. Estas acciones, las influencias que unos ejercen sobre los otros, las obligaciones y compromisos que establecen, etc., hacen de los agentes entidades sociales.

Una situación de interacción se define como el conjunto de comportamientos que resultan de la agrupación de unos agentes. Agentes que actúan para conseguir sus objetivos, teniendo en cuenta para ello, los recursos disponibles y las características individuales.

#### **2.1.2 Clasificación de las situaciones de interacción**

Las situaciones de interacción pueden clasificarse atendiendo a tres criterios fundamentales: objetivos, relación con los recursos y medios disponibles para conseguir los objetivos marcados.

### 1. Clasificación según los objetivos a conseguir.

Los objetivos a conseguir por distintos agentes pueden ser incompatibles o compatibles. Se dice que son incompatibles si la consecución de un objetivo 'A' implica la no consecución de otro objetivo 'B'. En este caso, la situación resultante es de antagonismo. En el caso contrario, con objetivos compatibles, la situación es de cooperación o indiferencia.

### 2. Clasificación atendiendo a los recursos.

La disponibilidad de recursos externos es un factor muy importante en cuanto a las interacciones entre los agentes se refiere. La coincidencia, en espacio y tiempo, de varios agentes al acceder a un recurso, puede provocar conflictos. La resolución de los mismos se lleva a cabo mediante técnicas de negociación o de coordinación, que pretenden prevenir la existencia del problema. Sin embargo, los conflictos aparecen aun cuando todas las entidades tienen voluntad de colaborar.

### 3. Clasificación según las capacidades de los agentes en relación con las tareas a realizar.

Existen tareas que pueden ser llevadas a cabo por un agente individualmente, ya que este posee todas las características necesarias para ello. Sin embargo, en otros casos, se hace necesario la participación de varios agentes para la consecución del objetivo final. El sistema que resulta entonces, presenta nuevas funcionalidades emergentes que van más allá de la simple suma de las características individuales.

A partir de los criterios ya analizados y como una primera aproximación, se establece la tipología de las situaciones de interacción que aparece en la Tabla 1.

**Tabla 1: Clasificación de las situaciones de interacción (Fuente: Ferber, 1999).**

<b>Objetivos</b>	<b>Recursos</b>	<b>Características</b>	<b>Tipo situación</b>
Compatibles	Suficientes	Suficientes	Independencia
Compatibles	Suficientes	Insuficientes	Colaboración simple
Compatibles	Insuficientes	Suficientes	Obstrucción
Compatibles	Insuficientes	Insuficientes	Colaboración coordinada
Incompatibles	Suficientes	Suficientes	Competición individual pura
Incompatibles	Suficientes	Insuficientes	Competición colectiva pura
Incompatibles	Insuficientes	Suficientes	Conflictos individuales sobre recursos
Incompatibles	Insuficientes	Insuficientes	Conflictos colectivos sobre recursos

Las situaciones de independencia no suponen ningún problema desde el punto de vista de los MAS. La colaboración simple se da ante la necesidad de unión de características de distintos agentes, sin que haya ningún tipo de coordinación adicional.

Los problemas de obstrucción aparecen cuando un agente se interpone en el camino del otro para conseguir sus objetivos. Las situaciones de colaboración coordinada son las más complejas, ya que se enfrentan a la distribución de tareas entre agentes con distintas características sujeto, además, a la limitación de recursos.

En cuanto a la competición individual pura, no existen problemas de interacción ligados a esta situación, ya que las características individuales y los recursos son suficientes. No ocurre así para la competición colectiva pura, en la que la ausencia de todas las características necesarias para completar una tarea conduce a la formación de grupos que, posteriormente, se enfrentan entre sí para lograr sus objetivos.

Un ejemplo de una situación real que se ajusta al modelo de conflictos individuales sobre los recursos es la competencia por un puesto de trabajo. Los conflictos colectivos sobre los recursos se diferencian de los anteriores en la existencia de grupos.

### 2.1.3 Análisis de las situaciones de interacción

El análisis de las situaciones de interacción puede llevarse a cabo desde dos puntos de vista interrelacionados: macronivel, característico de un análisis global de la actividad; o bien, micronivel, centrado en el detalle.

Las microsituaciones que tienen lugar entre los agentes provocan la emergencia de nuevas propiedades en el macronivel. A su vez, las macrosituaciones originan problemas y restricciones para la situación a micronivel, cerrándose así, el bucle o vínculo de relaciones entre ambos, tal y como se aprecia en la Figura 1.

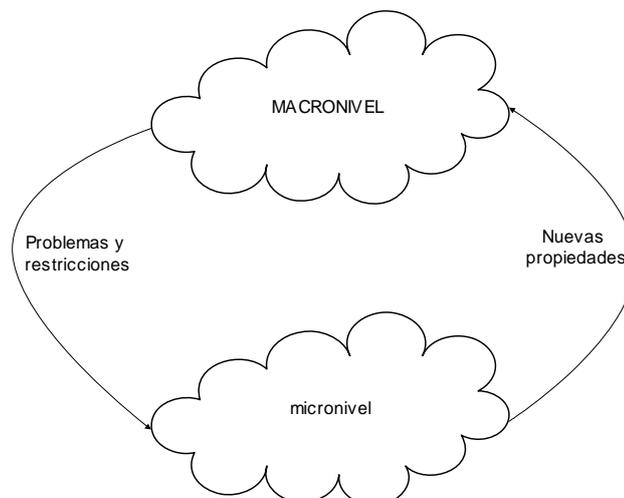


Figura 1: Análisis de situaciones de interacción (Fuente: elaboración propia).

## 2.2 Situaciones de cooperación

Desde los inicios de la Inteligencia Artificial Distribuida, se trabajó con grupos de agentes que perseguían una meta común. Las interacciones entre los agentes eran guiadas por la cooperación para conseguir así mayores niveles de representación (Jennings et al., 1998). Entre las primeras aproximaciones a estas situaciones la Planificación Parcial Global (*Partial Global Planning*, PGP) propuesta por Durfee y Lesser (1991) y el Modelo de Plan compartido (*Shared Plan Model*), propuesto por Grosz y Kraus (1996).

La necesidad de cooperación entre los agentes surge cuando estos tienen que resolver problemas interdependientes.

Las relaciones de cooperación nacen de dos situaciones básicas que se originan al dividir el dominio de un problema en subproblemas (Lesser, 1999):

- Puede ocurrir que los subproblemas en los que se divide sean el mismo o se superpongan.
- Por otro lado, también puede darse el caso de que los subproblemas obtenidos formen parte de un problema mayor, para cuya solución se requiera la existencia de restricciones entre las soluciones de los anteriores.

La cooperación entre agentes también es necesaria en situaciones en las que la descomposición o división de un problema no dé lugar a subproblemas disjuntos.

Ejemplos de estas situaciones son las que se originan cuando un grupo de agentes interpreta datos procedentes de distintos sensores que cubren zonas que se superponen, o bien, cuando la realización de una tarea por parte de un agente requiere que este tenga, previamente, resultados obtenidos por otros agentes.

### 2.2.1 Análisis de las formas de cooperación

Las numerosas formas de cooperación existentes pueden analizarse de dos modos claramente diferenciados:

- Desde el interior: la cooperación se considera una postura intencional.
- Desde el exterior: se observa y mide el nivel de cooperación con distintos indicadores externos.

#### 2.2.1.1 Análisis interior

El análisis desde un punto de vista interior tiene el inconveniente de dejar de lado a los agentes reactivos. Este análisis considera que la cooperación es el fruto de la intención de los agentes por cooperar en una determinada tarea. Ante esta situación es imposible que pueda cooperar un agente sin capacidad para tener intenciones.

---

De igual modo, también se consideran situaciones de cooperación a aquellas en las que las interacciones dan un resultado negativo, pero en las que los agentes actuaban con la intención adecuada.

Desde el punto de vista del análisis interior se concluye que la postura cooperativa puede favorecer la aparición de situaciones de cooperación pero no es condición suficiente para ello, ya que a veces la intención de cooperar no resulta en situaciones reales de cooperación en el entorno.

### 2.2.1.2 Análisis exterior

El análisis de la cooperación desde un punto de vista exterior busca la objetividad. Se definen criterios observables y cuantificables para establecer el estado preciso de la situación. Concretamente, se dice que dos agentes están cooperando si se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- La adición de un nuevo agente aumenta diferencialmente el nivel de representación del grupo.
- La acción de los agentes sirve para evitar o resolver problemas potenciales o actuales.

Con este enfoque es posible distinguir entre una cooperación intencional, caso de agentes cognitivos, y una cooperación reactiva, para agentes reactivos. En el caso de la cooperación reactiva, los agentes no tienen intención explícita de cooperar, pero su comportamiento colectivo satisface alguno de los criterios anteriores.

Se distinguen tres familias de indicadores correspondientes con tres funciones de cooperación:

- Incremento de la capacidad de supervivencia.

Los indicadores de supervivencia reflejan la capacidad de un individuo o grupo para mantener su unidad funcional.

- Mejora en la representación.

Los indicadores de representación informan sobre la capacidad de un agente o un grupo de agentes para la realización de tareas definidas por terceros. Desde esta perspectiva, la cooperación consiste en la amplificación de las capacidades de los agentes individuales. Esta amplificación puede ser cualitativa o cuantitativa y tener efectos de ambos tipos igualmente.

- Resolución de conflictos.

El carácter autónomo de los agentes hace que estos puedan tener intereses contradictorios que los lleven a situaciones de conflicto. Estas situaciones son causa y efecto de las interacciones. La información de las mismas, proporcionada por los indicadores de conflicto, se refiere al número de agentes implicados.

### 2.2.2 Cooperación entre agentes interesados

Otra posible clasificación de los agentes no expuesta previamente, pero apropiada para el presente punto, es aquella que los divide en agentes cooperativos e interesados (en la literatura inglesa, *self-interested*).

Los agentes cooperativos son aquellos que trabajan por la consecución de objetivos comunes, mientras que los interesados se caracterizan por tener cada uno metas diferentes. No obstante, y a pesar de esto, los agentes interesados interactúan para la consecución de sus metas.

El concepto de interacción entre agentes interesados ha estado siempre ligado al de negociación. La negociación puede considerarse como un método de coordinación y resolución de conflictos (Jennings et al., 1998).

Las premisas necesarias para el desarrollo de aplicaciones de negociación en entornos multiagente reales son:

- Existencia de algún tipo de conflicto que pueda resolverse de forma descentralizada.
- Los agentes que han de resolver el conflicto son interesados.
- Los agentes tienen racionalidad limitada.
- Los agentes involucrados sólo disponen de información incompleta.

Los primeros trabajos desarrollados en este ámbito fueron el sistema PERSUADER de Sycara (1990), que modelaba el intercambio de ofertas y contraofertas hasta alcanzar un acuerdo entre las partes, y el trabajo de Rosenschein (1994), basado en teoría de juegos.

Algunos autores, como Huhns (1999) enfocan este tema desde un punto de vista diferente y dividen las interacciones entre los agentes en dos grupos: coordinación y competición. Estos autores engloban la negociación dentro de las formas de competición en lugar de verla como una forma de coordinación entre agentes interesados.

### 2.2.3 Métodos de cooperación

Una vez caracterizada una situación de cooperación, se hace necesario abordar los métodos que los agentes emplean para cooperar. Estos pueden agruparse en seis categorías.

- Agrupamiento y multiplicación.

El agrupamiento facilita la vida del agente; permite que se considere al grupo como un organismo distribuido en el que cada individuo puede realizar acciones específicas necesarias para la comunidad. La multiplicación, por su parte, supone la mejora en la representación y el aumento de la fiabilidad.

- Comunicación.

La comunicación es indispensable para que tenga lugar la cooperación entre agentes. Se trata de un elemento fundamental para la distribución de tareas y la coordinación de acciones.

- Especialización.

Hace referencia al proceso por el que un agente se vuelve más adaptado y mejora sus capacidades para la realización de una tarea concreta.

- Colaboración por reparto de tareas y recursos.

Técnicas de colaboración son aquellas que permiten a los agentes distribuir tareas, información y recursos para realizar un trabajo común. En los sistemas cognitivos, la distribución de tareas puede realizarse de un modo centralizado o distribuido. Siguiendo esta última línea, hay que destacar dos tendencias: la basada en redes de conocidos y otra que se apoya en conceptos de mercado (ofertas y pujas).

- Coordinación de acciones.

Desde el punto de vista de los sistemas multiagente, las tareas de coordinación, a pesar de no ser productivas, son básicas. Estas se encargan de que las acciones realmente productivas se lleven a cabo en las mejores condiciones posibles. Algunas tareas de coordinación hacen referencia al reconocimiento de los agentes que están colaborando en la resolución de un problema, a la identificación de agentes que podrían o deberían resolver un problema o a decidir cuándo acometer la resolución del mismo.

- Resolución de conflictos mediante arbitraje y negociación.

Estas son dos de las técnicas usadas para la resolución de conflictos en sistemas multiagente. La primera de ellas se basa en el establecimiento de una serie de normas de comportamiento que limitan los conflictos. Cuando agentes cognitivos se ven envueltos en conflictos sobre recursos y objetivos, se recurre, preferiblemente, a procesos de negociación entre ellos.

#### **2.2.4 Organización y cooperación**

Llegados a este punto es necesario llamar la atención sobre la fuerte conexión existente entre las funciones y los métodos de cooperación ya analizados.

Entre las numerosas ventajas que ofrece la cooperación se pueden señalar:

- Realización de tareas imposibles de afrontar individualmente.
- Mejora de la productividad de cada uno de los agentes.
- Aumento de la eficiencia en la realización de tareas.

- Mejora del uso de los recursos.

Las situaciones de cooperación aumentan, enriquecen y mejoran las funcionalidades del sistema multiagente.

La cooperación requiere la implementación de mecanismos para mejorar la representación del grupo y conseguir mayores índices de supervivencia; paralelamente y para esto mismo, se necesita la existencia de una estructura social, una organización, que puede repercutir positiva o negativamente sobre los agentes. Esta organización puede ser predefinida por el diseñador, o bien emerger de las interacciones entre las entidades. Así pues, en estos procesos se asume la existencia de mecanismos de comunicación y la presencia de las estructuras internas necesarias en los agentes.

A modo de conclusión, se puede decir que, como consecuencia de las interacciones, emergen estructuras y organizaciones que hacen que aumente el nivel de funcionalidad, que aumenten las posibilidades de supervivencia individual y se establezcan, también, restricciones que limitan y restringen las acciones individuales.

### 2.2.5 Un modelo de cooperación: *A-Teams*

Un posible esquema de cooperación entre agentes autónomos es el denominado equipo asíncrono, *A-Team* (Talukdar et al., 1998), en el que la cooperación se lleva a cabo mediante la modificación de las soluciones propuestas por los otros agentes para un problema o una tarea.

El esquema *A-Team* combina rasgos de distintas heurísticas y filosofías en el campo de los agentes: sociedades de insectos, comunidades celulares, algoritmos de pizarra (*Blackboard*), recocido simulado (*Simulated Annealing*, SA), algoritmos genéticos (*Genetic Algorithms*, GA), búsqueda tabú (*Tabu Search*, TS) y tormenta de ideas (*brainstorming*). De este modo, se consigue aliviar las debilidades de cada uno de los métodos usados, aprovechando siempre sus respectivas ventajas.

En el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se profundiza el modelo aquí presentado.