

Razonamiento y Planificación Automática

---

# Tema 10. Planificación multi agente

# Índice

[Esquema](#)

[Ideas clave](#)

[10.1. ¿Cómo estudiar este tema?](#)

[10.2. ¿Qué es la planificación multi agente?](#)

[10.3. Planificación multi agente antes de la ejecución](#)

[10.4. Planificación multi agente durante ejecución](#)

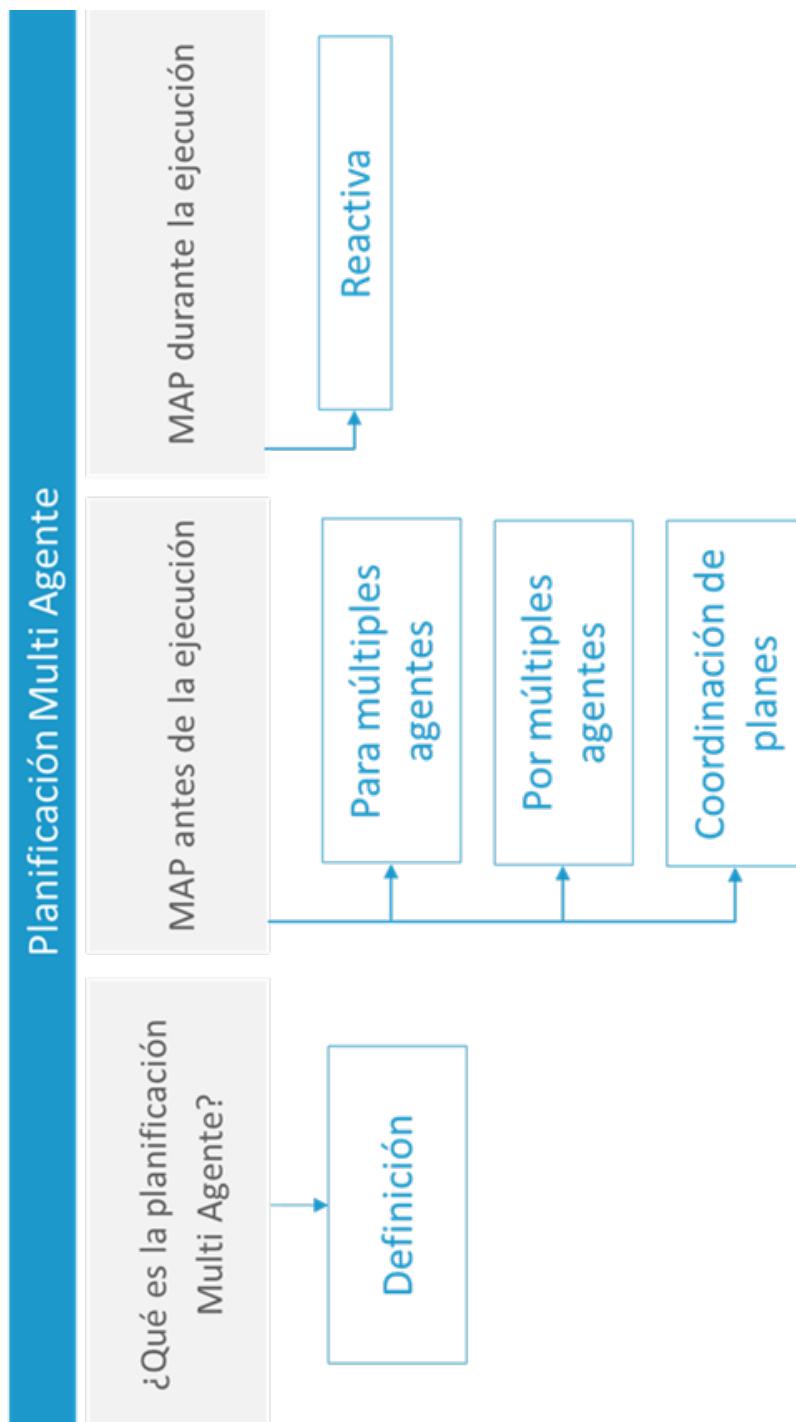
[10.5. Referencias bibliográficas](#)

[A fondo](#)

[Planificación en sistemas complejos](#)

[Inteligencia Artificial](#)

[Test](#)



## 10.1. ¿Cómo estudiar este tema?

A lo largo de este tema profundizaremos en el concepto de planificación multi agente. Este concepto será abordado desde dos puntos claramente identificables, desde la planificación y la ejecución. Por un lado, profundizaremos en la planificación multi agente que se realiza **antes de enviar a ejecución cualquier acción de un plan**, y por otro lado profundizaremos en una línea de investigación relativamente nueva, en la que se realiza una planificación multi agente **durante la ejecución de las acciones de un plan**.

Considerando estos conceptos, ilustraremos el caso en el que deseamos construir **sistemas de planificación en entornos multi agentes**.

## 10.2. ¿Qué es la planificación multi agente?

Como lo hemos venido mencionando en temas anteriores los agentes se pueden clasificar en dos categorías según su arquitectura y las técnicas que emplean en su toma de decisiones:

- ▶ Agentes reactivos (Gúzman Álvarez, 2019): basan su toma de decisiones en forma rápida y teniendo en cuenta su estado actual, evitando siempre tener que realizar un proceso de búsqueda complejo.
- ▶ Agentes de deliberativos (Ghallab, 2004): basan su toma de decisiones con procesos de búsqueda complejos que pueden emplear grandes cantidades de tiempo. Durante la búsqueda simulan y predicen soluciones a situaciones futuras, posiblemente como un resultado de sus propias acciones. Todo esto para decidir el mejor plan de acciones (plan óptimo).

El decidir que un agente sea reactivo o deliberativo depende de la situación particular en la que se encuentre el agente. Por ejemplo, en el problema de planificar una ruta para ir de un lugar a otro. Un agente reactivo puede utilizar una brújula para guiar su camino, por el contrario, un agente deliberativo consultaría un mapa. Obviamente, el agente deliberativo generará un plan óptimo (la ruta más corta) en la mayoría de los casos porque de ante mano tomará decisiones de evitar colisiones, callejones sin salida, u otras situaciones que se puedan encontrar durante el camino.

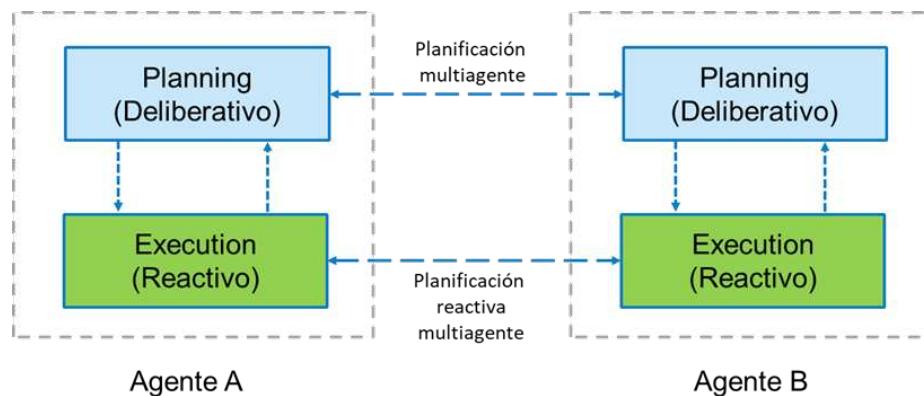


Figura 1. Situaciones donde se puede realizar planificación multi agente.

En la literatura (De Weerdt, 2009) (Guzman, 2015), los agentes reactivos son considerados más como agentes de ejecución. Y los agentes deliberativos como agentes de planificación. Ambos tipos de agentes pueden realizar una planificación, una menos profunda para los reactivos, y una más profunda para los deliberativos. Es decir, en el término más general, podemos tener una coordinación entre los agentes durante la ejecución o durante la planificación.

Para resolver un problema de planificación multi agente (durante la ejecución o planificación), en general, debemos resolver un conjunto de tareas (Durfee E. H., 2001), si bien algunas de estas se pueden suprimir o matizar:

- ▶ Detallar y refinar la meta global.
- ▶ Asignar tareas a los agentes.
- ▶ Coordinar a los agentes antes de la planificación.
- ▶ Resolver los planes individuales de cada agente.
- ▶ Coordinar el plan resultante de todos los agentes antes de ejecutarlo.

- ▶ Ejecutar el plan.
- ▶ Resolver fallos en los planes de los agentes durante la ejecución

En estos escenarios multi agente, nos podemos encontrar con **entornos cooperativos, competitivos o parcialmente cooperativos**.

En el resto del tema, nos centraremos en la planificación multi agente que se realiza antes de la ejecución y durante la ejecución.

## 10.3. Planificación multi agente antes de la ejecución

Es un tipo de planificación que sucede antes de enviar cualquier plan o acción a ejecución.

La planificación puede ser desarrollada por:

- ▶ Un único agente de planificación centralizado;
- ▶ Un número de agentes de planificación que interactúan entre sí para generar, entre todos, un plan libre de conflictos y en el que cada uno de los agentes involucra la acción que quiere ejecutar;
- ▶ O un número de agentes de planificación que generan sus propios planes y luego realizan un proceso de coordinación de planes o plan merge (Torralba, 2019), con el fin de evitar conflictos entre los planes.

En cualquiera de los casos, las acciones del plan serán enviadas a los respectivos agentes de ejecución para que sean ellos los que ejecuten las acciones en el entorno.

Este tipo de planificación multi agente, donde múltiples agentes de planificación intervienen en el proceso de búsqueda de un plan solución, a menudo de forma distribuida, presenta dificultades adicionales sobre el ya difícil problema de la planificación en sí mismo:

- ▶ Necesidad adicional de protocolos de coordinación,
- ▶ Comunicación, a menudo, limitada;

- ▶ Y el resultado del plan final es poco óptimo.

Sin embargo, existen un número significativo de buenas razones para realizar la planificación por y/o para múltiples agentes:

- ▶ Los agentes pueden ser entidades de la vida real que tienen principalmente sus propios intereses. Por lo tanto, aprecian mantener su privacidad y autonomía.
- ▶ En muchos casos, un sistema distribuido (planificación por múltiples agentes) puede resolver problemas más eficientemente que un sistema centralizado (planificación para múltiples agentes).
- ▶ Crear y mantener planes localmente permite una reacción más eficiente en caso de incidentes, especialmente cuando la comunicación es limitada.
- ▶ Dividir el problema de planificación en subproblemas más pequeños (asignación de objetivos) y resolverlos en paralelo a veces puede ser más eficiente, especialmente cuando los subproblemas de planificación individuales están poco vinculados.

## Planificación para múltiples agentes

Es una técnica en la que se emplea un agente de planificación centralizado para encontrar un plan solución que consiga los objetivos. Cada acción o tarea es luego asignada (*task allocation* (Lee, 2017)) a su agente de ejecución para que se encargue de llevarla a cabo.

La ventaja de esta técnica es que puede utilizar cualquier planificador del estado del arte.

En este tipo de planificación se asume que:

- ▶ Los objetivos son comunes entre todos los agentes, por lo que buscan cooperar entre ellos para conseguirlos.
- ▶ Los agentes tienen una visión parcial del estado del mundo. Es decir, algunas proposiciones pueden ser desconocidas para algunos agentes. Por ejemplo, porque no están en su rango de visión.
- ▶ Cada agente tiene sus propias acciones, que pueden ser iguales (por ejemplo, moverse) o diferentes en capacidades (por ejemplo, en el dominio de los robots de Marte, un agente puede solo analizar rocas y otro agente puede solo comunicar los resultados a la tierra).

El agente de planificación centralizado mantiene una visión global del estado del mundo. Es un agente que genera y coordina los planes de otros agentes de ejecución y distribuye a estos agentes las tareas o acciones que definen sus propios planes mientras pueden negociar con otros sobre tareas o recursos (Clement B., 2005).

Cada agente de ejecución debe sensorizar su parte del estado del mundo e informarla al agente de planificación, quien se encargará de realizar las siguientes tareas de manera centralizada:

- ▶ **Unificar** los estados del mundo recibidos por cada agente. Como mencionamos anteriormente, los mismos pueden ser diferentes porque cada agente puede tener su propia visión del estado del mundo.
- ▶ **Generar** un plan solución que a partir del estado del mundo global consiga los objetivos comunes de los agentes de ejecución.
- ▶ **Asignar** las acciones del plan solución a cada agente de ejecución.

Un plan solución generado con planificación para múltiples agentes (PTMA, usando siglas en inglés) tiene la garantía de:

- ▶ no presentar conflicto entre sus acciones,
- ▶ ser óptimo (dependiendo del tipo de heurística que se utilice)
- ▶ y completo.

En resumen, un agente de planificación centralizado se orienta a tratar con problemas cuyos agentes tienen fuertes interacciones. En estos diseños se asume un entorno completamente cooperativo por parte de los agentes que comparten bases de conocimiento y mecanismos de comunicación y coordinación.

## Planificación por múltiples agentes

El término **planificación por múltiples agentes** (PBMA, usando siglas en inglés) aborda el problema de la planificación en entornos donde varios agentes independientes planifican de forma incremental para generar un plan que en la mayoría de los casos tiene una representación centralizada del plan (Durfee E. H., 1999).

Notar que el término representación centralizada del plan se refiere a que cada agente tiene una visión global de cómo va el plan. Es como tener el plan en una pizarra que es común para todos los agentes. En ningún momento se refiere a planificar de forma centralizada.

PBMA puede referirse a la **planificación distribuida**, donde debemos tener en cuenta varios agentes independientes no centralizados.

Existen dos elementos principales que diferencian la planificación clásica de los modelos PBMA:

- ▶ La coordinación de las actividades de planificación. Implica, por ejemplo, implementar un protocolo que permita planificar por turnos.
- ▶ La distribución de la información entre agentes. Implica que cada agente tiene su propia visión del estado del mundo, y sus propias capacidades. Y que además pueden o no comunicar dicha información entre ellos.

El framework Partial Global Planning (PGP) (Durfee E. H., 1987), implementa una aproximación en la que cada agente tiene un conocimiento parcial de los planes de los otros agentes a través de una representación especializada del plan. En este método, la coordinación se logra de la siguiente manera:

Supongamos dos agentes de planificación A y B que desean resolver un problema.

- ▶ Si un agente A informa a otro agente B de una parte de su propio plan, B fusiona esta información en su propio plan global parcial.
- ▶ El agente B puede entonces intentar mejorar el plan global. Como, por ejemplo, eliminando acciones redundantes.
- ▶ El plan mejorado por el agente B se muestra a otros agentes, que pueden aceptar, rechazar, o modificarlo.
- ▶ Se supone que este proceso se ejecuta simultáneamente con la ejecución del plan local de cada agente.

PGP se aplicó en un problema de programación de pacientes de un hospital.

Otro enfoque para la coordinación de agentes es a través de modelos de actitud mental. El *framework* GRATE (Jennings, 1993) permite a los agentes coordinar su planificación individual razonando sobre sus creencias, deseos, intenciones e intenciones y compromisos conjuntos. La coordinación se intercala con la planificación, creando y revisando compromisos a través de un agente organizador.

En resumen, una PBMA se orienta a tratar con problemas cuyos agentes tienen interacciones medias y/o fuertes. En estos diseños se asumen entornos cooperativos o parcialmente cooperativos. Los agentes en la mayoría de los casos tienen capacidades diferentes y/o recursos limitados. Además, comparten bases de conocimiento, protocolos de planificación y mecanismos de comunicación.

## Coordinación de planes de múltiples agentes

Estas aproximaciones se centran en resolver problemas donde los agentes tienen escasas interacciones entre sí. Los agentes en estos modelos diseñan los planes de forma individual, de modo que el objetivo es coordinar a posteriori estos planes individuales (Durfee E. H., 1999) (Van Der Krogt, 2005). Es decir, integran la planificación individual con la coordinación de planes.

El esfuerzo se centra en cómo coordinar los planes que se construyeron por separado. Estos métodos son llamados fusión de planes (*plan merge*) y apuntan a la construcción de un plan conjunto dados los (*sub*) planes individuales de cada uno de los agentes participantes.

(Georgeff., 1983) fue uno de los primeros en proponer un proceso de sincronización de planes individuales. Definió un modelo para formalizar las acciones con precondiciones abiertas en el plan de un agente. La esencia de dicho modelo son las condiciones de corrección, que se definen en el estado del mundo y deben ser

válidas antes de que la ejecución del plan se pueda llevar a cabo. Dos agentes pueden ayudarse mutuamente cambiando el estado del mundo de tal manera que se cumplan las condiciones de corrección del otro agente. Por supuesto, cambiar el estado del mundo puede ayudar a un agente, pero también puede interferir con las condiciones de corrección de otro agente.

Otro enfoque de fusión de planes, realizado de manera centralizada, se puede observar en (Rosenschein, 1994). Aborda problemas de resolución de conflictos entre acciones y/o acciones redundantes. Lo resuelven mediante el algoritmo de búsqueda A\*. Utilizan una heurística inteligente basada en costos. Llegan a demostrar que al dividir el trabajo de construir subplanes sobre varios agentes, se puede reducir la complejidad general del algoritmo de fusión (Rosenschein, 1994).

Otra técnica es intercalar la planificación y la coordinación de planes en múltiples niveles de abstracción (Clement B. J., 1999). La idea es que los agentes gradualmente vayan refinando sus planes a la vez que van coordinándolos. Los planes se van realizando básicamente en una manera abstracta. Este razonamiento abstracto también puede ser utilizado por los agentes para mantener la autonomía mientras se explotan los resultados de otros agentes para mejorar la eficiencia del plan y el rendimiento de la búsqueda. En esencia el algoritmo funciona de la siguiente manera.

Durante la realización del plan se van agregando dependencias condicionales al plan: si un agente logra la meta de otro, el agente puede ejecutar una rama más eficiente del plan; de lo contrario, se puede seguir el curso normal de acción. Esto funciona con éxito en un enfoque de agente único que utiliza una representación de red temporal simple condicional (STN) para fusionar acciones / subplanes redundantes en submetas (Tsamardinos, 2000).

En la vida real la fusión de planes se ha empleado de forma efectiva en los datos de planificación de una compañía de taxis.

## 10.4. Planificación multi agente durante ejecución

Una vez se ha generado un plan, estos se envían a ejecución. Los agentes de ejecución normalmente son los encargados de ejecutar y monitorizar la correcta ejecución de las acciones del plan.

La monitorización implica el poder detectar fallos que impidan la correcta ejecución de las acciones del plan. Cuando esto sucede los agentes de ejecución pueden intentar:

- ▶ Repararlo de forma individual,
- ▶ Repararlo de forma multi agente en el menor tiempo posible,
- ▶ Solicitar un nuevo plan a un agente de planificación.

La planificación multi agente durante la ejecución, es un tipo de planificación que sucede cuando se están ejecutando las acciones de un plan. Es desarrollada por:

- ▶ Un número de agentes de planificación reactiva que interactúan entre sí para reparar entre todos el plan de otro agente que ha fallado durante la ejecución.

Se orienta a tratar con problemas cuyos agentes tienen interacciones débiles y/o medias. En estos diseños se asumen entornos cooperativos o parcialmente cooperativos donde los agentes son independientes. Los agentes en la mayoría de los casos tienen capacidades diferentes y/o recursos limitados. No comparten bases de conocimiento, y cuentan con protocolos sencillos de planificación.

Es una línea de investigación relativamente nueva. En (Gúzman Álvarez, 2019), desarrollaron MARPE, un framework de planificación y ejecución reactiva para ambientes multi agentes. Se profundizará más en este tipo de planificación más adelante.

## 10.5. Referencias bibliográficas

Clement, B. (2005). Workshop on Multiagent Planning and Scheduling. Taller llevado a cabo en el International Conference on Automated Planning and Scheduling ICAPS-05. Monterrey (California).

Clement, B. J. (1999). Top-down search for coordinating the hierarchical plans of multiple agents. In *Proceedings of the third annual conference on Autonomous Agents*, (pp. 252-259).

De Weerdt, M. &. (2009). Introduction to planning in multiagent systems. *Multiagent and Grid Systems*, 5(4), 345-355.

Durfee, E. H. (1987). *Planning coordinated actions in dynamic domains*.

Durfee, E. H. (1999). A survey of research in distributed, continual planning. *Ai magazine*, 20(4), 13-13.

Durfee, E. H. (2001). Distributed problem solving and planning. In *ECCAI Advanced Course on Artificial Intelligence* (pp. 118-149). Berlin, Heidelberg: Springer.

Georgeff., M. P. (1983). Communication and interaction in multi-agent planning. *Third National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-83)*, (pp. 125-129). Menlo Park, CA.

Ghallab, M. N. (2004). *Automated Planning: theory and practice*. San Francisco: Elsevier.

Gúzman Álvarez, C. A. (2019). *Reactive plan execution in multi-agent environments* (Doctoral dissertation).

Guzman, C. C. (2015). Reactive execution for solving plan failures in planning control applications. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 22(4), 343-360.

Jennings, N. R. (1993). Specification and implementation of a belief-desire-joint-intention architecture for collaborative problem solving. *International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, 2(03), 289-318.

Lee, B. H. (2017). Multi-UAV control testbed for persistent UAV presence: ROS GPS waypoint tracking package and centralized task allocation capability. In *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. pp. 1742-1750). IEEE.

Rosenschein, E. E. (1994). Divide and conquer in multi-agent planning. *Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94)*, (pp. 375-380). Menlo Park, CA.

Torralba, A. &. (2019). Merge-and-shrink task reformulation for classical planning. *HSDIP*, (p. 18).

Tsamardinos, I. P. (2000). Merging Plans with Quantitative Temporal Constraints, Temporally Extended Actions, and Conditional Branches. *AIPS*, (pp. 264-272).

Van Der Krog, R. y. (2005). Plan repair as an extension of planning . *International Conference on Automated Planning and Scheduling ICAPS-05*. Monterrey (California).

## Planificación en sistemas complejos

Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:<https://www.youtube.com/watch?v=KACAJdjfJyl&feature=youtu.be>

Vídeo sobre planificación en sistemas complejos de J. L. Iglesias.

## Inteligencia Artificial

Escolano, F., Cazorla, M. A., Alfonso, M. I., Colomina, O. y Lozano, M. A. (2003). *Inteligencia artificial*. Madrid: Thomson.

Lee el capítulo cinco de este libro en el que se habla de la planificación clásica, planificación disyuntiva y planificación como satisfacción de restricciones, entre otras cosas.

- 1.** Son tareas que se deben resolver en un problema de planificación multi agente:
  - A. Detallar y refinar la meta global.
  - B. Asignar tareas a los agentes.
  - C. Ejecutar un plan.
  - D. Todas las anteriores.
  
- 2.** En entornos multi agentes nos encontramos con:
  - A. Agentes no cooperativos, y competitivos.
  - B. Agente cooperativos, competitivos o parcialmente cooperativos.
  - C. Agentes parcialmente cooperativos, y altruistas.
  
- 3.** Una de las razones para realizar la planificación multi agente antes de la ejecución es:
  - A. Representa aquellas propiedades que son precondición de alguna acción presente en el plan y que todavía no se han enlazado por medio de ningún arco causal.
  - B. Un número de agentes de planificación que generan sus propios planes.
  - C. En muchos casos, resuelve problemas más eficientemente que un sistema centralizado.
  
- 4.** La ventaja principal de la planificación para múltiples agentes es:
  - A. Ofrece restricciones de orden parcial entre dos acciones.
  - B. Puede utilizar cualquier planificador del estado del arte.
  - C. Ofrece un efecto entre tres o más acciones conjuntas.

- 5.** Un agente de planificación centralizado:

  - A. Comunica el estado del mundo a los otros agentes de ejecución.
  - B. Genera y coordina los planes de otros agentes de ejecución.
  - C. Mantiene una visión global del estado del mundo.
  - D. B y C son correctas
- 6.** Una de las tareas de un agente centralizado es:

  - A. Generar un plan solución que consiga los objetivos comunes de los agentes de ejecución.
  - B. Aplicar heurísticas de tipo STRIPS.
  - C. Encontrar la secuencia de refinamiento que, partiendo del plan parcial inicial, llegue a un plan parcial solución.
- 7.** La PBMA son:

  - A. Aptos para entornos en los que varios agentes desean conseguir elaborar un plan conjunto para resolver un problema.
  - B. Construcciones de redes de tareas jerárquicas de tipo STRIPS.
  - C. Aptos para entornos en los que un agente desea resolver varios problemas a la vez.
- 8.** La PBMA y la planificación clásica se diferencian en:

  - A. La coordinación de las actividades de planificación.
  - B. La distribución de la información entre agentes.
  - C. Las dos características anteriores.

**9.** La coordinación de planes de múltiples agentes se realiza:

- A. Antes de la planificación.
- B. Despues de la planificación.
- C. Durante la ejecución del plan.

**10.** Un sistema distribuido de planificación:

- A. Debe ser capaz de distribuir la información entre varios agentes por medio de un sistema multiagente.
- B. Tiene que ejecutar todas las tareas en un único agente en un orden determinado.
- C. Debe usar un planificador de tipo STRIPS en cada agente.