

Razonamiento y Planificación Automática

---

## Tema 7. Problemas de planificación

# Índice

[Esquema](#)

[Ideas clave](#)

[7.1. ¿Cómo estudiar este tema?](#)

[7.2. ¿Qué es un problema de planificación?](#)

[7.3. Tipos de problemas de planificación](#)

[7.4. Planificadores de orden total y de orden parcial](#)

[7.5. Referencias bibliográficas](#)

[A fondo](#)

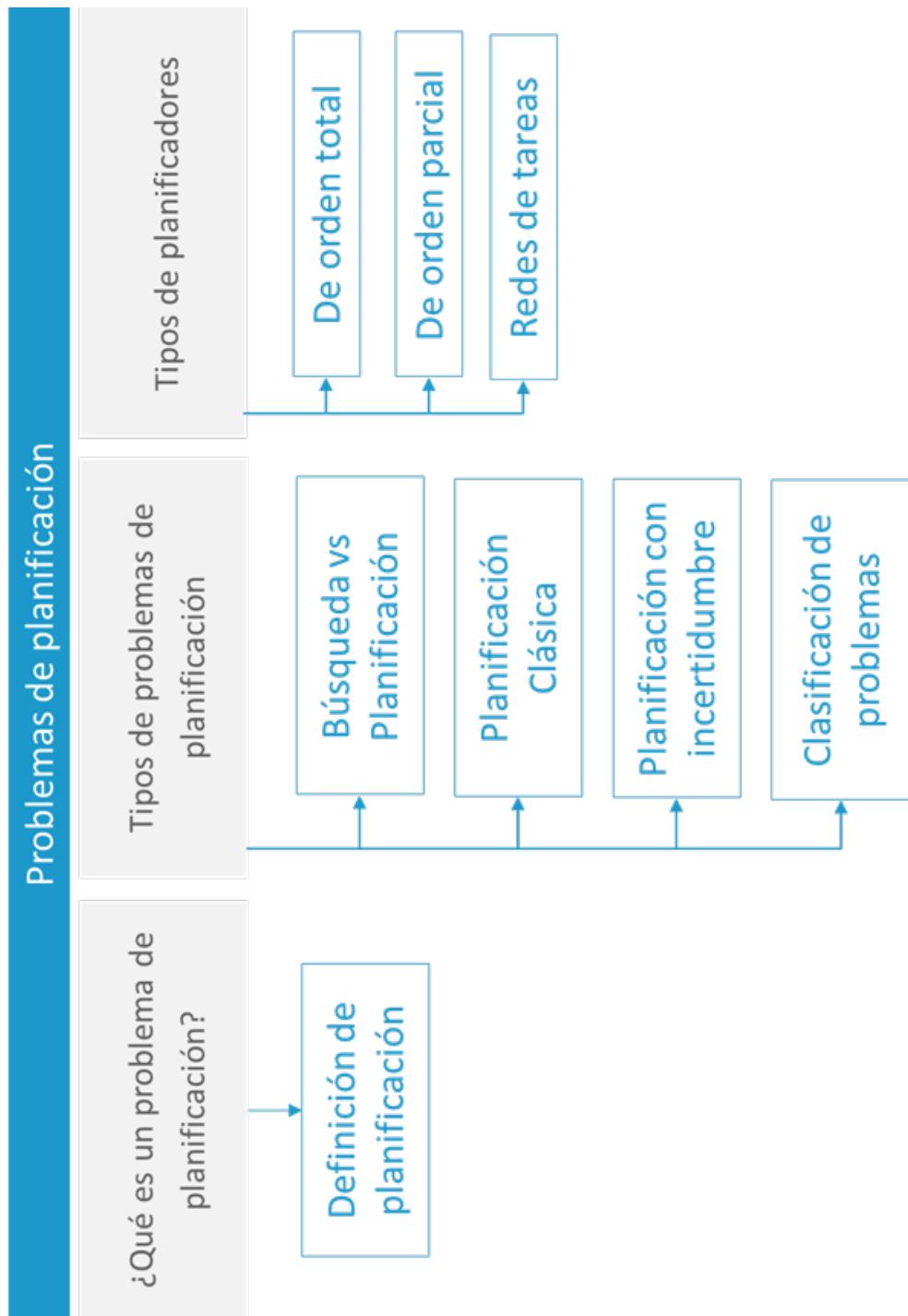
[Acelerar la planificación de tareas](#)

[Classical Planning](#)

[ICAPS](#)

[Bibliografía adicional](#)

[Test](#)



## 7.1. ¿Cómo estudiar este tema?

En este tema introduciremos los matices que definen un problema de planificación y sus diferencias principales respecto a los problemas de búsqueda generales.

Clasificaremos los problemas de planificación y presentaremos los conceptos generales que hacen necesaria la planificación en situaciones que requieren estrategias que construyan los planificadores de orden total y de orden parcial.

Expresaremos también el caso particular de los planificadores en un entorno específico como es el de los simuladores en tiempo real.

En el capítulo 11 (Planificación) del libro (Russell, 2004), tenemos muchos conceptos generales de la planificación clásica en inteligencia artificial.

## 7.2. ¿Qué es un problema de planificación?

La planificación automática en inteligencia artificial apunta a secuencias ordenadas de acciones que alcanzan objetivos específicos, que definimos como **planes**. Los planes generados deben poder ser ejecutados por los agentes; de este modo, deben ser secuencias de acciones que un agente inteligente, robot o máquina pueda ejecutar.

«Desde principios de los años 70, la comunidad de IA especializada en planificación se ha ocupado del problema del diseño de agentes artificiales capaces de actuar en un entorno» (Vázquez-Salceda, 2011).

En los últimos años, se ha empezado a imponer el criterio de que los sistemas planificadores deberían ser una pieza primordial de gran parte de los agentes inteligentes artificiales, especialmente si queremos que usen estructuras cognitivas de razonamiento.

La idea principal que subyace a este concepto es proporcionar a los agentes inteligentes la capacidad de representar el objetivo a alcanzar, para lo cual formalizan las acciones que pueden realizar y generan un modelo simbólico del entorno.

## Definición de planificación

Se define **planificación** como el **proceso formalizado de búsqueda de secuencias de acciones que partiendo del estado actual del entorno satisfacen una meta.** (Russell, 2004):

- ▶ Estado actual del entorno: es una representación estructura que crea el agente al momento de percibir su entorno. Como, por ejemplo, su posición actual, si llueve o no llueve, la posición de una mesa, etc.
- ▶ Meta: es cualquier condición que un agente quiera satisfacer. Un agente puede tener varias posibles metas, pero en un instante determinado **solo una puede estar activa**, controlando el comportamiento.
- ▶ Acción: es un paso simple y atómico dentro de un plan que hace que un agente haga algo (ir a un punto, activar un objeto, etc.)
- ▶ Plan: secuencia de acciones.
- ▶ Proceso de planificación: Un agente proporciona a un sistema (planificador) un estado actual del entorno, un conjunto de acciones y una meta que desea satisfacer, y el planificador busca un plan que con la ejecución de sus acciones consiga esta meta.



Figura 1. Esquema de *planner*. Fuente: (Russell, 2004).

## 7.3. Tipos de problemas de planificación

### Comparación entre problemas de búsqueda y de planificación

La principal diferencia entre búsqueda y planificación es la representación de estados. En la **búsqueda**, los estados se representan como una sola entidad (que puede ser un objeto bastante complejo, pero su estructura interna no es utilizada por el algoritmo de búsqueda). En la **planificación**, los estados tienen representaciones estructuradas (colecciones de propiedades) que son utilizadas por el algoritmo de planificación.

Si bien en el contexto de la planificación nos encontramos con la necesidad de analizar diversas opciones dentro de la exploración de los estados, en los problemas de búsqueda deberemos determinar varios pasos por medio de la selección de una secuencia de acciones, con el objetivo de alcanzar un estado del mundo que sea lo mejor posible para el agente. Este proceso de **seleccionar acciones** se realiza por medio de búsqueda y lo único que debemos tener en cuenta es que el resultado de una acción debe ser predecible.

En resumen, la **planificación** es el proceso de calcular varios pasos de un procedimiento de resolución de problemas antes de ejecutar cualquiera de ellos. Este problema se puede resolver mediante la **búsqueda**.

### Planificación clásica

La planificación es una tarea compleja y por esta razón la mayoría de los planificadores trabajan sobre un modelo restringido del entorno (**planificación clásica**). Este modelo es determinista, estático y totalmente observable.

Concretamente fija las siguientes asunciones:

- ▶ Observable: considera que el entorno es totalmente observable y no existe información desconocida para el planificador.

- ▶ Estático: considera que el entorno solo cambia al momento de aplicar una acción en el estado inicial completamente conocido. Es decir, no existen influencias externas que afecten el entorno. Además, considera que los objetivos son conocidos y no cambian durante la planificación.
- ▶ Determinista: considera que los efectos de aplicar una acción en un estado son totalmente predecibles, conduciendo de forma determinista a un único nuevo estado.
- ▶ Proposicional: considera un enfoque proposicional para representar el estado del entorno. Son variables del modelo de planificación que pertenecen al dominio lógico y toman valores de cierto o falso.
- ▶ Duración de las acciones: considera que todas las acciones del modelo de planificación tienen la misma duración (1) y se ejecutan de manera atómica e instantánea.
- ▶ Offline: considera que la tarea de planificación para construir un plan completo que satisface el estado meta se desarrolla antes de la ejecución de cualquier acción del plan en el estado del mundo.

Aun considerando estas simplificaciones, el problema a resolver por un planificador es PSPACE-Completo. Así bien, el empleo de técnicas clásicas de búsqueda o demostración de teoremas no resulta factible del todo.

## Planificación con incertidumbre

Como un caso opuesto a la planificación clásica, encontramos la planificación con incertidumbre (Russell, 2004). Que se acerca más a lo que conocemos en el mundo real.

Concretamente, en una planificación con incertidumbre se fijan como importantes las siguientes asunciones:

- ▶ Parcialmente Observable: considera que el entorno es parcialmente observable, por lo que puede existir información desconocida para el planificador.
- ▶ Dinámico: considera que el entorno puede cambiar en cualquier momento. Es decir, existen influencias externas que afecten el entorno. Esto aplica también para los estados metas.
- ▶ No Determinista: considera que los efectos de aplicar una acción en un estado no son predecibles, conduciendo de forma no determinista a uno o varios nuevos estados.

Por lo tanto, un agente puede no conocer todo el estado del mundo, entorno parcialmente observable. O tener acciones cuyos efectos son no deterministas. En estas situaciones, se requiere una planificación con incertidumbre donde el uso de la probabilidad o de los modelos ocultos de markov toman bastante valor.

## Clasificación de métodos y problemas

Atendiendo a su modo de búsqueda en el espacio de estados para obtener el resultado u objetivo deseado, los sistemas de planificación pueden:

- ▶ Operar hacia delante (desde el estado inicial), buscando aquellas acciones que se pueden aplicar desde el estado en el que nos encontramos y realizando una búsqueda no informada para conseguir obtener las acciones precisas que alcancen el objetivo.
- ▶ Aplicar las acciones hacia atrás (Guzman, 2015) (desde el objetivo a obtener), con el fin de encontrar qué acciones pueden producir el resultado que deseo en último lugar e ir explorando desde la meta al inicio el espacio de estados.

Estos enfoques se emplean principalmente cuando los valores que definen el estado meta son independientes entre sí.

Cuando nos encontramos en escenarios en los que no podemos garantizar la independencia entre los elementos que componen un estado deseado, suele ser buena idea utilizar algoritmos que buscan dentro del espacio de los posibles planes sin intentar obtener de una sola vez una secuencia completa de acciones totalmente ordenada. Estos mecanismos se describen como **planificación de orden parcial (POP)**. Trabajan hacia atrás, desde el objetivo, y añaden acciones para planificar cómo alcanzar cada subobjetivo.

Otra alternativa, en caso de que los problemas sean demasiado largos, es subdividir el problema de forma jerárquica, ya sea mediante extensiones de los operadores de planificación general o mediante extensiones del lenguaje y modificación de la compartimentalización del problema, combinando de manera efectiva las soluciones parciales en las que hay elementos comunes. Esta técnica se conoce como **redes de tareas jerárquicas**.

## Planificación generalizada

«Un plan generalizado brinda una solución única para un conjunto de problemas de planificación. En muchos dominios, los planes generalizados solo pueden hacer cálculos en ciertas funciones de alto nivel, por ejemplo, funciones capaces de capturar conceptos clave o variables que distinguen cuidadosamente entre diferentes estados posibles. En la planificación generalizada, estas funciones de alto nivel se codificarán a mano» (Lotinac, 2016).

## 7.4. Planificadores de orden total y de orden parcial

La planificación de orden total tiene principalmente una limitación cuando los objetivos que debemos alcanzar en un problema interactúan entre sí. En este caso, el método GPS puede deshacer un subobjetivo mientras intenta satisfacer a otro (Ghallab, 2004). La **anomalía de Sussman** describe esta situación perfectamente.

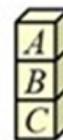
### Anomalía de Sussman:

Estado inicial:



Estado meta:

*On (A, B)  
On (B, C)*



Plan óptimo:

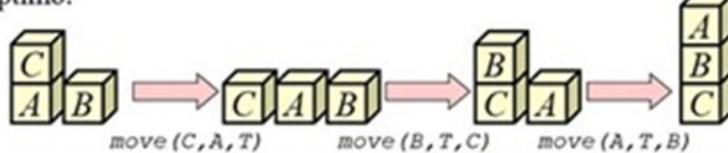


Figura 2. Anomalía de Sussman.

La figura 2, muestra un ejemplo de la Anomalía de Sussman en el dominio del mundo de bloques. En ella tenemos la posibilidad de completar un problema por medio de un plan, pero nos encontramos con la imposibilidad de encontrar un plan global óptimo a partir de concatenar subplanes parciales.

Como veremos, en muchos casos, las heurísticas de planificación global (como STRIPS) implican que las submetas son independientes, pero para conseguir alguna de ellas es necesario destruir otras metas ya conseguidas, degenerando en un bucle en el que los subobjetivos se anulen continuamente.

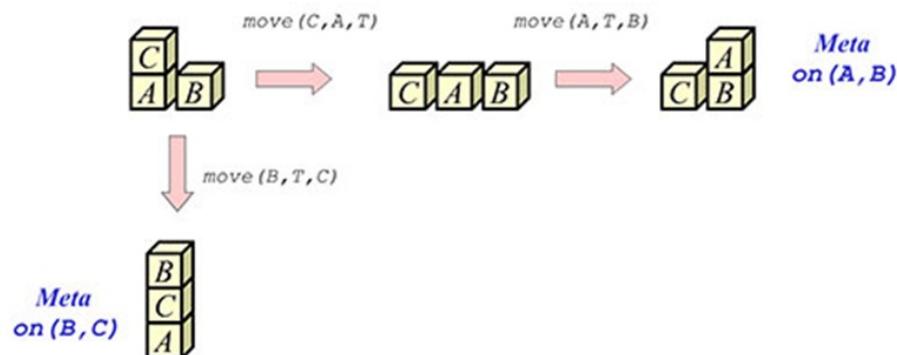


Figura 3. Un posible estado puede alcanzar dos subobjetivos por medio de acciones que se anulan continuamente.

Para resolver este tipo de problemas, veremos los **planificadores de orden parcial**. En ellos, en lugar de buscar en el espacio de estados u objetivos, buscamos en un espacio de planes no completamente especificados (planes parcialmente ordenados).

Así, definiremos un **plan parcialmente ordenado** como un plan en el que solo se especifican algunas de las precedencias entre sus acciones y buscaremos los distintos planes que pueden concatenar acciones, de tal modo que podamos satisfacer las restricciones de orden entre las acciones de un plan (Russell, 2004).

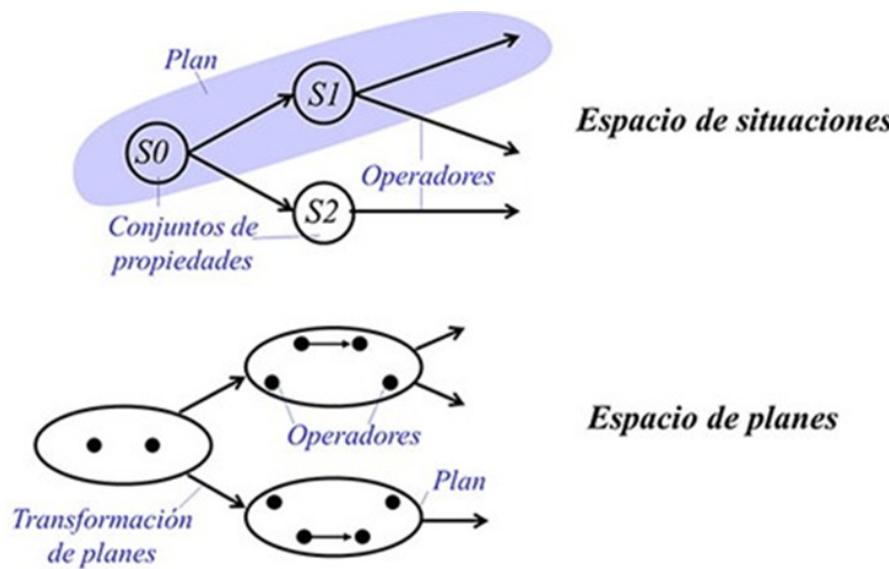


Figura 4. Búsqueda en el espacio de planes, idea inicial del POP.

## Planificadores de orden parcial

Para resolver aquellos problemas en los que la consecución de una submeta conlleve, de modo endémico, una destrucción de otras metas conseguidas anteriormente y para solucionar problemas de modo general, disponemos del mecanismo basado en la búsqueda en el espacio de planes, en contraposición a la búsqueda en el espacio de estados en el que se basa STRIPS.

Así, buscaremos en el espacio de planes no completamente especificado, es decir, en el espacio de **planes de orden parcial**.

Definiremos **plan parcialmente ordenado** (*partial order plan*, POP) como un plan en el que solo se especifican algunas de las precedencias entre sus acciones.

## Componentes

Un POP está compuesto por los siguientes componentes:

- ▶ Nodos/acciones: forman los pasos del plan, seleccionados de entre los operadores del agente. Cada uno con sus precondiciones y efectos.
- Con dos acciones especiales: inicio (sin precondiciones y con el efecto de crear las propiedades del estado inicial) y final (sin efectos y que tiene como precondiciones todas las propiedades que conforman el estado meta).
- ▶ Arcos: son las restricciones de orden parcial entre dos acciones,  $A \prec B$



Figura 5. Arcos.

- ▶ Arcos/enlaces causales: especifican la consecución de un efecto por parte de una acción, que es precondición para otra acción a la que se enlazan.

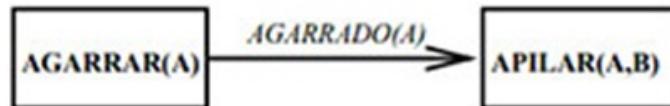


Figura 6. Arcos/enlaces causales.

- ▶ Precondiciones abiertas: representan 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.

Se define un **plan parcial inicial** como aquel que tiene, únicamente, las acciones de inicio y final. Con la restricción implícita de orden  $INICIO \prec FINAL$  y que contiene todas las precondiciones de final abiertas.

El objetivo es conseguir un plan parcial final (de entre los posibles que existan) que **no tenga conflictos** entre los enlaces causales, **sin ciclos** entre sus restricciones de orden y **sin precondiciones abiertas**.

Donde definimos que la acción C entra en conflicto con el enlace causal entre  $A \xrightarrow{p} B$  (que produce la propiedad p) si C tiene el efecto de eliminar p y, según las restricciones de orden, C podría ir antes que B y después de A.  $A \prec C \prec B$

Para la obtención de una secuencia de planes parciales que nos permita alcanzar el plan parcial debemos colocar las acciones una detrás de otra, sin contradecir ninguna restricción de orden que se deduzca del plan parcial. Para ello deberemos tener en cuenta que cualquier secuenciación de un plan parcial solución supone una solución al problema original.

En este contexto elaboramos la idea de que debemos diseñar un algoritmo para encontrar planes parciales finales. La idea principal es la creación de un POP comenzando por el plan inicial e ir aplicando transformaciones u operadores a los planes parciales, refinándolos.

En esencia, consiste en resolver las precondiciones abiertas evitando las amenazas.

En cada instante habrá varias alternativas para ir refinando el plan y no todas ellas

conducen hacia el plan parcial final. Por tanto, el problema consiste en encontrar la secuencia de refinamiento que, partiendo del plan parcial inicial, llegue a un plan parcial solución (es decir, sin ciclos, sin amenazas y sin precondiciones abiertas).

Vuelve a ser una búsqueda en un espacio de estados, pero ahora los estados son los planes parciales y los operadores son los refinamientos sucesivos de los planes parciales.

## Algoritmo

En consecuencia, un **algoritmo POP** simplemente emplea un algoritmo de búsqueda (en profundidad, por ejemplo) en el espacio de los planes parciales para encontrar el plan parcial final.

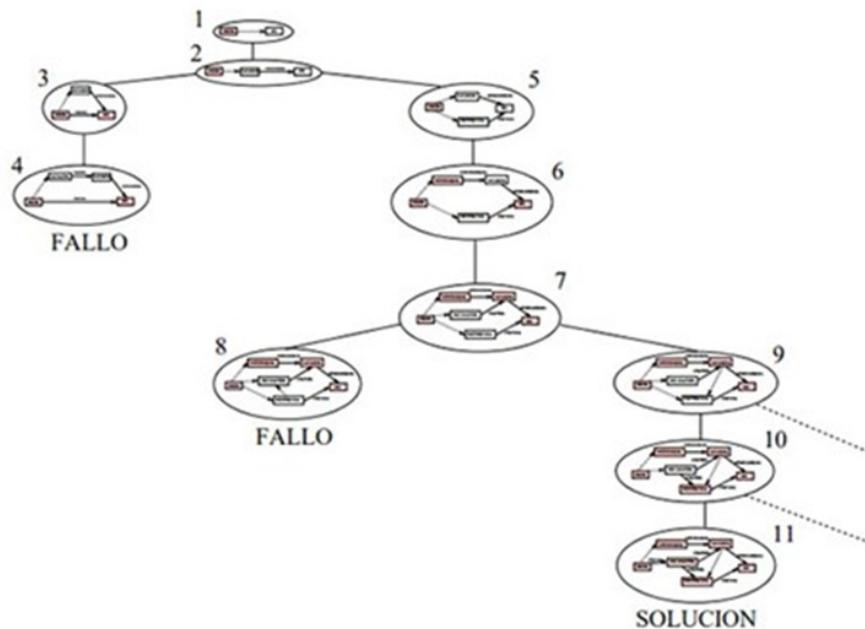


Figura 7. Búsqueda en profundidad en el espacio de planes.

Como todo algoritmo de búsqueda, contamos con dos componentes principales. Por un lado, los **estados**, que en este caso es un plan parcial creado hasta ese instante, con el conjunto de acciones enlazadas y precondiciones abiertas. Y, por otro lado, los **operadores o acciones** que se pueden crear desde cada estado.

En este caso, dispondremos de dos tipos de acciones en cada estado.

- ▶ Acciones de resolución de precondiciones abiertas: dada una precondición  $p$  abierta en una acción  $B$  dentro del plan del estado actual, por cada acción  $A$  que tiene como efecto producir  $p$ , podemos obtener un plan refinado aplicando uno de los pasos siguientes (siempre que no se produzcan ciclos): Establecimiento simple: si la acción  $A$  ya estaba en el plan, se añade la restricción  $A \prec B$  y el enlace causal  $(A \xrightarrow{p} B)$ .
- ▶ Resolución de conflictos dentro del plan actual: supuesto el caso de que exista un conflicto entre el enlace causal  $A \xrightarrow{p} B$  y la acción  $C$ , se puede crear un plan sucesor (estado sucesor) aplicando alguno de los siguientes pasos, siempre que no creemos ciclos:
  - Promoción de la acción  $B$ : añadiendo la restricción de orden  $B \prec \dots$ .
  - Degradar la acción  $A$ : añadiendo la restricción  $\neg A$ .

Al realizar el proceso de creación del POP por medio de una técnica de búsqueda, tenemos que crear el árbol de búsqueda en el que:

- ▶ Los nodos son planes parciales.
- ▶ Creamos tantas ramas como las necesarias originadas por las acciones anteriores de resolución de precondiciones abiertas y conflictos.

No es necesario expandir todas las precondiciones en un nivel, basta con ir haciéndolo de modo ordenado a lo largo de la exploración de los siguientes niveles (debemos ser cuidadosos con este proceso, esta exploración no influye en la completitud del plan, pero sí puede ser muy determinante en la eficiencia).

Algunos mecanismos de búsqueda en árboles, como el de profundidad, pueden caer en iteraciones infinitas. Para evitarlo es necesario contar con una cota de profundidad de exploración en estos casos. Asimismo, existen heurísticas que permiten acelerar el proceso de obtención de planes.

## 7.5. Referencias bibliográficas

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

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

Lotinac, D. S.-A. (2016). Automatic Generation of High-Level State Features for Generalized Planning. *Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Kambhampati, S.

Russell, S. y. (2004). *Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno*. Madrid: Pearson Educación.

Vázquez-Salceda, J. (2011). *Agentes planificadores*. Obtenido de Agentes planificadores : <http://www.lsi.upc.edu/~jvazquez/teaching/iag/transpas/4-PL1-IntroPlanificaci%C3%B3n.pdf>

## Acelerar la planificación de tareas

García, A., de la Rosa, T. y Borrajo, D. (2011). Using the Relaxed Plan Heuristic to Select Goals in Oversubscription Planning Problems. *Lecture Notes in Computer Science*, 7023, 183-192. Recuperado de: [http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/actualidad\\_cientifica/noticias/tecnica\\_inteligencia\\_artificial](http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/actualidad_cientifica/noticias/tecnica_inteligencia_artificial)

Trabajo en el que se presenta un nuevo sistema de planificación de altas prestaciones con recursos limitados.

## Classical Planning

Universidad Nottingham. (s.f.). *Planning and search. Classical Planning.* Recuperado de: <http://www.cs.nott.ac.uk/~psznza/G52PAS/lecture9.pdf>

Trabajo resumen de la Universidad de Nottingham en sus *Lecture Notes* de planificación.

## ICAPS

Accede a la página web a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://icaps-conference.org/index.php/Main/HomePage>

Página web de ICAPS, la Conferencia Internacional de Planificación, donde puedes estar al día de todo lo que se habla en este evento.

## Bibliografía adicional

Newell, A., Shaw, J. y Simon, H. (1959). Report on a general problem-solving program. *Proceedings of the International Conference on Information Processing* (pp. 256-264).

Nilsson, N. (2009). *The Quest for Artificial Intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.

- 1.** Se define planificación como:
  - A. La definición lógica de un escenario concreto de fases y tareas.
  - B. El proceso formalizado de búsqueda de secuencias de acciones que satisfacen una meta.
  - C. La búsqueda de soluciones en un espacio de restricciones.
  - D. La creación de un proceso no estructurado.
  
- 2.** Una meta es:
  - A. Cualquier condición que un agente quiera satisfacer.
  - B. Es un paso simple y atómico.
  - C. Es un objetivo no final.
  - D. Es una fase del desarrollo de un plan.
  
- 3.** Una acción es:
  - A. Cualquier condición que un agente quiera satisfacer.
  - B. Es un paso simple y atómico.
  - C. Una planificación de entorno.
  - D. Un modelo de comportamiento del agente.
  
- 4.** Un plan es:
  - A. Una secuencia de acciones.
  - B. Un paso simple y atómico.
  - C. Una meta no formalizada.
  - D. Una entrada proporcionada a un planificador.

5. Una búsqueda se diferencia de una planificación en:
  - A. Nada, son lo mismo.
  - B. Las búsquedas generales no toman en consideración la estructura de los estados y la planificación sí.
  - C. Que en la planificación no se realizan búsquedas.
  - D. Que las metas de los planificadores no son estados ni características de ellos.
  
6. Los planificadores, atendiendo a su mecanismo de exploración, pueden ser:
  - A. Hacia delante o hacia atrás.
  - B. Estructurados o no estructurados.
  - C. Divisibles o indivisibles.
  - D. Ninguna de las anteriores.
  
7. La anomalía de Sussman:
  - A. Surge al tener objetivos que interaccionan entre sí.
  - B. Contempla el escenario en el que para cumplir un subobjetivo debemos destruir otro ya alcanzado.
  - C. Presenta la complejidad de subdividir un plan en tareas jerárquicas.
  - D. La A y la B son correctas.
  
8. Un planificador de orden parcial:
  - A. Construye planes en los que solo se especifican algunas de las precedencias entre sus acciones.
  - B. No resuelve problemas generales.
  - C. No busca en el espacio de planes.
  - D. Crea órdenes de subobjetivos concatenados hacia delante.

**9.** Un plan se construye:

- A. Por medio de acciones atómicas.
- B. Para alcanzar una meta, que puede ser una combinación de características del entorno en una configuración determinada.
- C. Atendiendo a las precondiciones que se deben dar en el entorno para poder activar una acción.
- D. Todas las anteriores.

**10.** Una red de tareas jerárquica:

- A. Subdivide el problema en metas.
- B. Subdivide el problema en tareas complejas y simples.
- C. Es un mecanismo de planificación de problemas complejos.
- D. La B y la C son correctas.