



PLANIFICACIÓN

- Es el proceso de búsqueda y articulación de una secuencia de acciones que permita alcanzar un objetivo.
- La **planificación clásica** trabaja con entornos:
 - Completamente observables
 - Deterministas
 - Estáticos
 - Discretos (en tiempo, acciones, objetos y efectos)
- La **planificación no-clásica** trabaja con entornos parcialmente observables o estocásticos.


EL PROBLEMA DE LA PLANIFICACIÓN

- ¿Qué retos enfrenta un agente que utiliza algoritmos clásicos de búsqueda (búsqueda primero en profundidad, A*, etc.) cuando se enfrenta a problemas en entornos reales?
 - Evitar ser desbordado por acciones irrelevantes al problema.
 - Encontrar la función heurística adecuada.
 - Aprovechar la descomposición del problema.

ACCIONES IRRELEVANTES

- Suponer que la tarea es comprar un ejemplar del libro "El principito" en una librería online, y tenemos la acción *comprar(x)* donde x es el ISBN.
- El ISBN tiene trece dígitos, por lo que tendríamos 10^{13} acciones.
- Un agente de planificación razonable debería ser capaz de trabajar con **expresiones de objetivos explícitos**. Por ejemplo, el objetivo *Tener(x)* se logra mediante la acción *Comprar(x)*.

- Objetivo:
Tener(ISBN 9788495971760)
- Acción:
Comprar(ISBN 9788495971760)



ELECCIÓN DE UNA HEURÍSTICA ADECUADA

- Suponer que la tarea es comprar cuatro libros en la misma librería online.
- Tendríamos $10^{13} 10^{13} 10^{13} 10^{13} = 10^{52}$ planes de cuatro etapas.
- El agente planificador debe tener acceso a una representación explícita del objetivo como una secuencia de subobjetivos:
 - $Tener(A) \wedge Tener(B) \wedge Tener(C) \wedge Tener(D)$

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC-UNAM, 2014

- Una estimación heurística podría ser el número de libros que permanecen sin ser comprados.
- Se requiere a un humano que suministre la función heurística para cada nuevo problema.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC-UNAM, 2014

DESCOMPOSICIÓN DE PROBLEMAS

- Consideremos el problema de trasladar un conjunto de maletas de viajes a sus respectivos destinos, los cuales están distribuidos en diferentes lugares de Australia. ¿En qué orden se deben entregar?
- Si se tienen n entregas, entonces existen $n!$ formas de entregar los paquetes.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC-UNAM, 2014

- Divide y vencerás.- Asignamos el aeropuerto más próximo de cada una de las entregas. Para cada aeropuerto, llevamos todas sus maletas asignadas y elegimos el orden en el que repartimos las maletas. Si tenemos k aeropuertos, entonces existen $(n/k)!$ formas de realizar las entregas.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC-UNAM, 2014

EL LENGUAJE DE LOS PROBLEMAS DE PLANIFICACIÓN

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC-UNAM, 2014

REPRESENTACIÓN DE PROBLEMAS

- La representación del problema (estados, acciones y objetivos) debe hacer posible que los algoritmos de planificación aprovechen la estructura lógica del problema.
- Encontrar un lenguaje que:
 - Sea suficiente expresivo para describir un amplio rango de problemas.
 - Sea suficientemente restrictivo para permitir algoritmos efectivos y eficientes.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC-UNAM, 2014

STRIPS

- Siglas de *Stanford Research Institute Problem Solver*.
- Es un lenguaje de representación básico de los planificadores clásicos.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

REPRESENTACIÓN DE ESTADOS

- Un estado es una secuencia de literales positivos conectados.
 - Literales proposicionales : $Listo \wedge BateriaCargada$
 - Literales de primer orden: $En(Mesa1) \wedge Cargando(Refresco, Brazo1) \wedge Listo$
- En un marco de descripción de primer orden, los literales deben ser simples y sin dependencias funcionales, por ejemplo, los siguientes literales no se permiten:
 - $Llevar(x,y)$
 - $Mover(Posición(Objeto))$
- Hipótesis del mundo cerrado: se asumen como falsas las condiciones no mencionadas en un estado.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

REPRESENTACIÓN DE OBJETIVOS

- Un objetivo es un estado parcialmente especificado representado como una secuencia de literales positivos y simples.
 - $EnTiempo \wedge Objeto(Refresco, Mesa1) \wedge Objeto(Sopa, Mesa2)$
- Un estado proposicional s satisface un objetivo g si s contiene todos sus elementos en g .
 - Ejemplo:
 $EnTiempo \wedge Objeto(Refresco, Mesa1) \wedge Objeto(Sopa, Mesa2) \wedge Objeto(Sal, Mesa3)$ satisface
 $EnTiempo \wedge Objeto(Refresco, Mesa1)$

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

REPRESENTACIÓN DE ACCIONES

- Los **esquemas de acción** representan un número de diferentes acciones que pueden ser derivadas mediante la instanciación de las variables involucradas. Consta de tres partes:
 - El nombre de la acción y la lista de parámetros de los que depende.
 - La **precondición**, que es la unión de literales positivos sin dependencia funcional estableciendo lo que debe ser verdad en un estado antes de que una acción sea ejecutada. Todas las variables en las precondiciones deben estar en la lista de parámetros de acción.
 - El **efecto**, que es la unión de literales (positivos y negativos) sin dependencia funcional que describe cómo el estado cambia al ejecutar la acción.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

○ Ejemplo:

Acción: $Volar(avion, origen, destino)$
Precondición: $En(avion, origen) \wedge Avion(avion) \wedge Aeropuerto(origen) \wedge Aeropuerto(destino)$
Efecto: $\neg En(avion, origen) \wedge En(avion, destino)$

○ Si instanciamos las variables involucradas:

Acción: $Volar(MiAvion, Mexico, Canada)$
Precondición: $En(MiAvion, Mexico) \wedge Avion(MiAvion) \wedge Aeropuerto(Mexico) \wedge Aeropuerto(Canada)$
Efecto: $\neg En(MiAvion, Mexico) \wedge En(MiAvion, Canada)$

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

- Una acción es aplicable en cualquier estado que satisfaga sus precondiciones. En otro caso, la acción no tendrá efecto.
- La aplicación de una acción se reduce a la sustitución θ de las variables en la precondición.

$$\theta = \{ avion/MiAvion, origen/Mexico, destino/Canada \}$$

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

HIPÓTESIS STRIPS

- Cada literal no mencionada en el efecto permanece sin modificar. De este modo, se evita el **problema del marco**.

- Ejemplo:

Estado s:

$Avion(MiAvion) \wedge Avion(TuAvion) \wedge$
 $Aeropuerto(Mexico) \wedge Aeropuerto(Canada) \wedge$
 $En(MiAvion, Mexico) \wedge En(TuAvion, Canada)$

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

- Se aplica la acción *Volar*(*MiAvion*, *Mexico*, *Canada*), que tiene como efecto:
 $\neg En(MiAvion, Mexico) \wedge En(MiAvion, Canada)$

- Estado s':

$Avion(MiAvion) \wedge Avion(TuAvion) \wedge$
 $Aeropuerto(Mexico) \wedge Aeropuerto(Canada) \wedge$
 $En(MiAvion, Mexico) \wedge En(TuAvion, Canada) \wedge$
 $En(MiAvion, Canada)$

- Nota: si un efecto positivo está en s, no se añade de nuevo. Si un efecto negativo no está en s, esa parte del efecto es ignorada.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

EXPRESIVIDAD DE STRIPS

- La restricción más fuerte de STRIPS es que no permite dependencias funcionales de otros atributos.
- Esta restricción garantiza que todo sistema de acción pueda ser proposicionalizado (transformar en una colección finita de representaciones de acciones estrictamente proposicionales).
- Ejemplo, si tenemos 5 aviones y 4 aeropuertos, la acción *Volar*(*avion*, *destino*, *origen*) puede convertirse en $5 \cdot 4 \cdot 4 = 80$ acciones proposicionales.
- Se ha demostrado que STRIPS no posee expresividad suficiente para ciertos dominios reales.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

ADL (ACTION DESCRIPTION LANGUAGE)

- Ejemplo:

Acción: *Volar*(*avion:Avion*, *origen:Aeropuerto*, *destino:Aeropuerto*)

Precondición: $En(avion, origen) \wedge (origen \neq destino)$

Efecto: $\neg En(avion, origen) \wedge En(avion, destino)$

- La notación *origen:Aeropuerto* es una abreviatura de *Aeropuerto(origen)*.
- En STRIPS no era posible declarar *origen#destino*.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

STRIPS vs ADL

STRIPS	ADL
Solo literales positivos en estados: Inteligente \wedge Guapo	Literales positivos y negativos en estados: Inteligente \wedge \neg Guapo
Hipótesis del mundo cerrado: los literales no mencionados son falsos.	Hipótesis del mundo abierto: los literales no mencionados son desconocidos.
El efecto de $P \wedge \neg Q$ significa añadir P y eliminar Q	El efecto de $P \wedge \neg Q$ significa añadir P y $\neg Q$ y eliminar $\neg P$ y Q
Solo literales simples en objetivos: Inteligente \wedge Guapo	Variables cuantificadas en objetivos: $\exists x En(A,x) \wedge En(B,x)$

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

STRIPS vs ADL

STRIPS	ADL
Los objetivos son conjunciones: Inteligente \wedge Guapo	Se permiten conjunciones y disyunciones en los objetivos: (Inteligente \vee Rico) \wedge \neg Guapo
Los efectos son conjunciones	Se permiten efectos condicionales. <i>when</i> $P:Q$ significa que Q es un efecto sólo si P es satisfecho
No tiene infraestructura para soportar igualdades	Predicados de igualdad ($x=y$) son admisibles
No tiene infraestructura para soportar tipos	Las variables pueden tener tipos, como (mexico:Ciudad)

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014



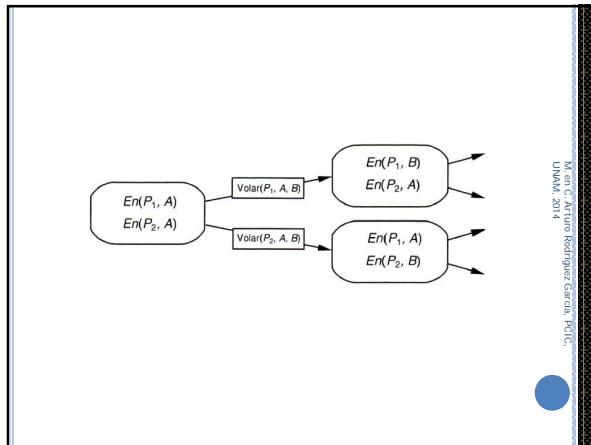
PLANIFICACIÓN CON BÚSQUEDAS EN ESPACIO DE ESTADOS

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

BÚSQUEDA HACIA ADELANTE

- Se le llama también planificación de progresión.
- Comenzamos en el estado inicial del problema, considerando secuencias de acciones hasta que encontremos una que alcance un estado objetivo.
- La formulación incluye:
 - El estado inicial (al igual que todos los estados, es un conjunto de literales simples y positivos).
 - Las acciones aplicables (todas aquellas cuyas precondiciones son satisfechas).
 - El test objetivo.
 - El costo del paso (en STRIPS, generalmente se utiliza un costo de 1 por cada acción).

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014



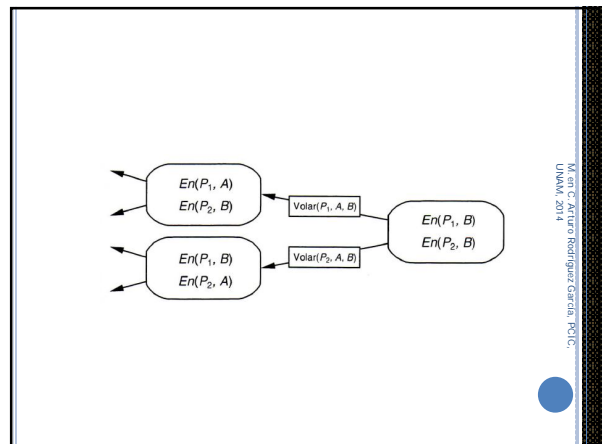
- En ausencia de símbolos funcionales, el espacio de estados de un problema de planificación es finito. Por tanto, cualquier algoritmo de búsqueda en grafos que sea completo (por ejemplo, A*) será un algoritmo de planificación completo.
- Se ha constatado que la búsqueda hacia adelante es ineficaz en la práctica.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

BÚSQUEDA HACIA ATRÁS

- Se le llama también planificación por regresión.
- Las describimos previamente como parte de las búsquedas bidireccionales.
- Difícil de implementar si el conjunto de estados objetivos no está explícitamente especificado.
- No siempre es obvio cómo encontrar los estados predecesores.
- La ventaja es que nos permite considerar únicamente acciones relevantes, por lo que el factor de ramificación es menor que en la búsqueda hacia adelante.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014



- Una acción es **relevante** para una secuencia de objetivos si alcanza un conjunto de ellos.
- Si además de alcanzar algún literal deseado, la acción no deshace ningún literal deseado, entonces la acción es **consistente**.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

HEURÍSTICAS

- Ya sea en búsqueda hacia adelante, o en búsqueda hacia atrás, necesitamos una función heurística adecuada.
- Una heurística estima la distancia desde un estado hasta el objetivo.
- En la planificación STRIPS, el costo de cada acción es 1, de modo que la distancia es el número de acciones.
- La idea básica es observar los efectos de las acciones y los objetivos que deben ser alcanzados y estimar cuántas acciones son necesarias para alcanzar todos los objetivos.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

INDEPENDENCIA DE SUBOBJETIVOS

- Asumir la independencia de subobjetivos implica que resolver un conjunto de subobjetivos es aproximadamente la suma de los costos que supone resolver cada uno de los subobjetivos independientemente.
- Es **optimista** cuando existen interacciones negativas entre los subplanes de cada subobjetivo (por ejemplo, cuando una acción en un subplan hace fracasar el objetivo al alcanzar otro subplan).
- Es **pesimista** (y por tanto inadmisibles) cuando los subplanes contienen acciones redundantes (por ejemplo, dos acciones podrían ser reemplazadas por una acción sencilla en un plan conjunto).

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

PLANIFICACIÓN ORDENADA PARCIALMENTE

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

PLANES TOTALMENTE ORDENADOS

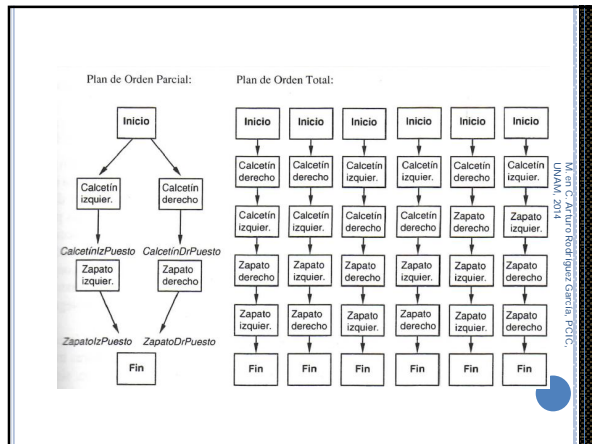
- La búsqueda hacia adelante y la búsqueda hacia atrás son planes totalmente ordenados: exploran secuencias estrictamente lineales de acciones conectadas al inicio o al objetivo.
- No se puede sacar provecho de la descomposición del problema, ya que se toman decisiones sobre el orden en el que suceden las acciones abordando todos los subproblemas.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

PLANES PARCIALMENTE ORDENADOS

- Trabaja en varios subobjetivos independientemente, los soluciona con varios subplanes y por último, combina todos los subplanes.
- Flexibiliza el orden en el que se construye el plan.
- Se le llama **mínimo compromiso** a la estrategia de aplazar una opción durante la búsqueda.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014



LINEALIZACIÓN Y BÚSQUDA

- Como resultado, se tienen seis posibles planes de orden total, cada uno de ellos se conoce como una **linealización** del plan de orden parcial.
- El planificador de orden parcial puede ser implementado como una búsqueda en el espacio, donde cada estado corresponde a un plan. La mayoría de los nodos tendrán planes inacabados.

UNAM, 2014
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.

COMPONENTES DE UN PLAN (EN CONSTRUCCIÓN)

- Un conjunto de **acciones** que ya se han realizado. El plan vacío contiene las acciones *Iniciar* y *Finalizar*.
 - *Iniciar* no tiene precondiciones, y tiene como efectos los literales en el estado inicial del problema de planificación.
 - *Finalizar* no tiene efectos y tiene como precondiciones los literales del objetivo del problema de planificación.
- Un conjunto de **restricciones ordenadas** de la forma $A < B$ (y significa que la acción A debe ser ejecutada en algún momento antes que B, pero no necesariamente en el estado inmediato anterior). Un ciclo $A < B$ y $B < A$ representa una contradicción, por lo que cualquier limitación de orden no puede ser añadida a un plan si crea un ciclo.

UNAM, 2014
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.

COMPONENTES DE UN PLAN (EN CONSTRUCCIÓN)

- Un conjunto de **relaciones causales**. Un enlace causal entre dos acciones A y B es escrito como $A \xrightarrow{p} B$.
 - Por ejemplo, $A = \text{CalcearDerecho}$, $B = \text{ZapatoDerecho}$ y $p = \text{CalcearDerechoPuesto}$.
 - p debe ser cierto durante el tiempo de acción que discurre desde la acción A hasta la acción B. El plan no puede ser extendido mediante una acción C que tenga el efecto $\neg p$, entrando en conflicto con el enlace causal.
- Un conjunto de **precondiciones abiertas**. Una precondición está abierta si no es alcanzada por ninguna acción en ningún plan.

UNAM, 2014
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.

PLANES CONSISTENTES Y SOLUCIONES

- Un plan es consistente si:
 - No hay ciclos en las restricciones ordenadas.
 - No existen conflictos en los enlaces causales.
- Un plan es una solución si:
 - Es consistente.
 - No tiene precondiciones abiertas.
- Cada linealización de una solución de orden parcial es una solución de orden total cuya ejecución desde el estado inicial alcanza en estado objetivo.

UNAM, 2014
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.

ALGORITMO POP (PLANIFICACIÓN DE ORDEN PARCIAL)

- Trabaja hacia atrás desde el objetivo, añadiendo acciones para planificar cómo alcanzar cada subobjetivo.
- El plan inicial contiene *Iniciar* y *Finalizar*, la restricción *Iniciar* < *Finalizar*, sin enlaces causales y todas las precondiciones en *Finalizar* como precondiciones abiertas.

UNAM, 2014
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.

ALGORITMO POP

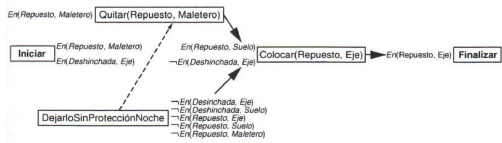
- La función sucesora elige una precondition p sobre una acción B y genera un plan sucesor para cada posible modo de selección consistente de una acción A que alcance p . La consistencia es impuesta como sigue:
 - El enlace causal $A \overset{D}{\rightarrow} B$ y la restricción de orden $A < B$ son añadidas al plan. Si la acción A es nueva, también se agrega $\text{Iniciar} < A$ y $A < \text{Finalizar}$.
 - Resolvemos conflictos entre el nuevo enlace causal y el resto de acciones existentes. Un conflicto entre $A \overset{D}{\rightarrow} B$ y C es resuelto haciendo que C ocurra fuera de la protección del intervalo, añadiendo $B < C$ o $C < A$.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC, UNAM, 2014

ALGORITMO POP

- La evaluación del objetivo revisa si un plan es una solución para el problema de planificación original. Como solamente son generados planes consistentes, la evaluación del objetivo simplemente necesita que no existan preconditiones abiertas.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC, UNAM, 2014



M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC, UNAM, 2014

GRAFOS DE PLANIFICACIÓN

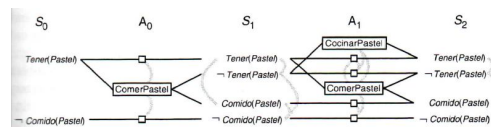
M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC, UNAM, 2014

GRAFOS DE PLANIFICACIÓN

- Consiste en una secuencia de niveles que corresponden a escalones de tiempo en el plan, y donde el nivel 0 es el estado inicial.
- Cada nivel contiene un conjunto de literales y un conjunto de acciones.
- Los literales son aquellos que pueden ser ciertos en cualquiera de las etapas, dependiendo solamente de las acciones ejecutadas en etapas previas.
- Las acciones son todas aquellas que pueden tener sus precondiciones satisfechas.
- Funcionan solamente en problemas de satisfacción proposicional.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC, UNAM, 2014

Iniciar ($\text{Tener}(\text{Pastel})$)
 Objetivo ($\text{Tener}(\text{Pastel}) \wedge \text{Comido}(\text{Pastel})$)
 Acción ($\text{Comer}(\text{Pastel})$)
 PRECOND: $\text{Tener}(\text{Pastel})$
 EFECTO: $\neg \text{Tener}(\text{Pastel}) \neg \text{Comido}(\text{Pastel})$
 Acción ($\text{Cocinar}(\text{Pastel})$)
 PRECOND: $\neg \text{Tener}(\text{Pastel})$
 EFECTO: $\text{Tener}(\text{Pastel})$



M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC, UNAM, 2014

ACCIONES PERSISTENTES

- El grafo de planificación necesita un modo de representar la falta de acción como la acción.
- En el caso de la falta de acción, se necesita que una literal permanezca siendo verdadera si no existe alguna acción que la altere.
- Esto se logra añadiendo acciones persistente: para cada literal positivo y negativo C, se añade una acción cuya precondition es C y cuyo efecto es C. En el grafo se representan como cuadrado vacíos.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

EXCLUSIÓN MUTUA ENTRE LITERALES

- Los enlaces de exclusión mutua se indican mediante líneas grises.
- La exclusión mutua entre dos literales se conoce como **soporte inconsistente**.
- Por ejemplo, *Tener(Pastel)* y \neg *Tener(Pastel)* son mutuamente excluyentes.
- En S1, *Tener(Pastel)* y *Comido(Pastel)* son mutuamente excluyentes porque no hay una acción que genere a ambas.
- De esta manera, S1 representa estados múltiples, y los enlaces mutuamente excluyentes son restricciones que definen el conjunto de posibles estados.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

EXCLUSIÓN MUTUA ENTRE ACCIONES

- Dos acciones (incluyendo las acciones persistentes) en el mismo nivel son mutuamente excluyentes por alguna de las siguientes razones:
 - Efectos inconsistentes.- una acción niega el efecto de la otra. Por ejemplo, en A0, *Comer(Pastel)* y *Tener(Pastel)* tienen efectos inconsistentes.
 - Interferencia.- el efecto de la acción A es la negación de la precondition de la acción B. Por ejemplo *Comer(Pastel)* interfiere con la persistencia de *Tener(Pastel)*.
 - Necesidades que entran en competencia.- la precondition de la acción A es mutuamente excluyente con la precondition de la acción B. Por ejemplo, *Cocinar(Pastel)* y *Comer(Pastel)* compiten sobre el valor de la precondition *Tener(Pastel)*.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

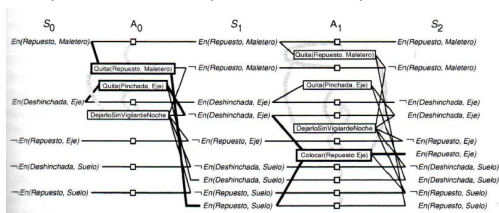
ESTABILIZACIÓN DEL GRAFO

- Se continúa alternando entre niveles de estados y niveles de acciones hasta que dos niveles consecutivos sean idénticos. En esta situación se dice que el grafo se estabilizó. Cada nivel posterior será idéntico hasta que la expansión sea innecesaria.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

ALGORITMO GRAPHPLAN

- Procesa el grafo de planificación, usando una búsqueda hacia atrás para extraer un plan.



M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

PLANIFICACIÓN CON LÓGICA PROPOSICIONAL

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

PLANIFICACIÓN CON LÓGICA PROPOSICIONAL

- Consiste en expresar el problema de planificación en axiomas proposicionales y aplicar un algoritmo de satisfacibilidad para encontrar un modelo que corresponda con un plan válido.
- Se buscan modelos de sentencias proposicionales que sigan la estructura:
Estado inicial \wedge Todas las posibles descripciones de acción \wedge Objetivo

M. en C. Arturo Rodríguez García, Pol. UNAM, 2014

- Un modelo que satisfaga la sentencia le asignará verdad a las acciones que son parte de un plan correcto y falso a las otras.
- Una asignación que corresponda a un plan incorrecto no será un modelo, porque será inconsistente con la afirmación de que el objetivo es correcto.
- Si el problema de planificación es irresoluble, la sentencia no será satisfecha.

M. en C. Arturo Rodríguez García, Pol. UNAM, 2014

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA EN LÓGICA PROPOSICIONAL

- Estado inicial:
 - $En(Avion1, Mexico) \wedge En(Avion2, Canada)$
- Objetivo:
 - $En(Avion1, Canada) \wedge En(Avion2, Mexico)$
- Se agrega un superíndice para indicar el instante de tiempo:
 - $En(Avion1, Mexico)^0 \wedge En(Avion2, Canada)^0$
- Debido a que la lógica proposicional usa hipótesis de mundo abierto, es necesario indicar en el estado inicial las cosas que no son verdaderas:
 - $\neg En(Avion1, Canada)^0 \wedge \neg En(Avion2, Mexico)^0$

M. en C. Arturo Rodríguez García, Pol. UNAM, 2014

- El objetivo también debe ser asociado con un tiempo particular pero... no sabemos de antemano cuántas pasos tendrá nuestro plan. Esto nos obliga a iterar revisando si el objetivo se cumple para $t = \{0, 1, 2, 3, \dots, tmax\}$
 - $En(Avion1, Canada)^t \wedge En(Avion2, Mexico)^t$
- Las acciones también se describen mediante proposiciones:
 - $Volar(Avion1, Mexico, Canada)^0$

M. en C. Arturo Rodríguez García, Pol. UNAM, 2014

- Se deben añadir también **axiomas de estado siguiente**:

$$\begin{aligned}
 & En(Avion1, Mexico)^t \leftrightarrow \\
 & (En(Avion1, Mexico)^0 \wedge \\
 & \quad \neg (Volar(Avion1, Mexico, Canada)^0 \wedge \\
 & \quad \quad En(Avion1, Mexico)^0)) \\
 & \vee (Volar(Avion1, Canada, Mexico)^0 \wedge \\
 & \quad En(Avion1, Canada)^0)
 \end{aligned}$$

- También se deben añadir **axiomas de precondition**:

$$Volar(Avion1, Mexico, Canada)^0 \rightarrow En(Avion1, Mexico)^0$$

M. en C. Arturo Rodríguez García, Pol. UNAM, 2014

- Agregar **axiomas de exclusión de acciones**:

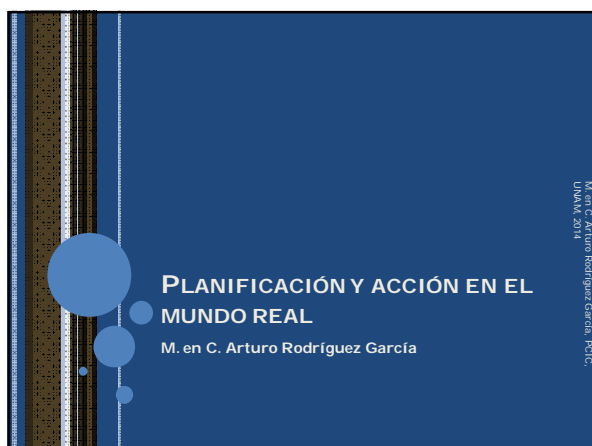
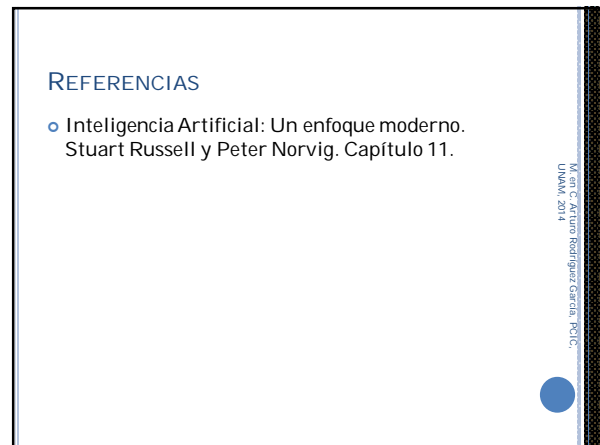
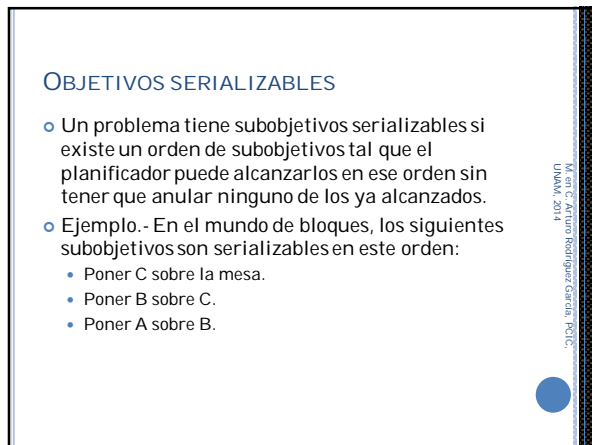
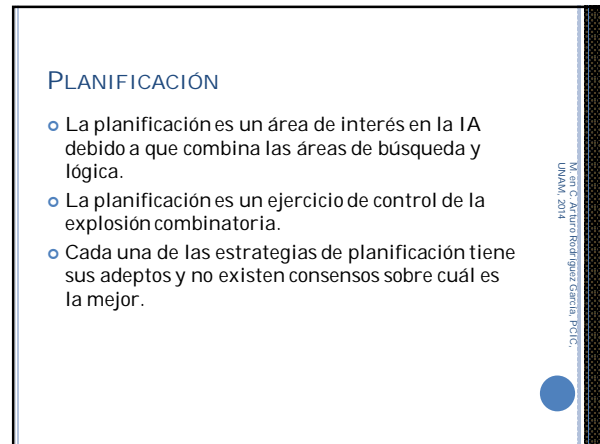
$$\neg (Volar(Avion1, Mexico, Canada)^0 \wedge Volar(Avion1, Mexico, Inglaterra)^0)$$

- Incluir **restricciones de estado**:

$$\neg (En(Avion1, Mexico)^0 \wedge En(Avion1, Inglaterra)^0)$$

- El principal problema de este enfoque es el tamaño del conocimiento que se genera a partir del problema de planificación original.

M. en C. Arturo Rodríguez García, Pol. UNAM, 2014



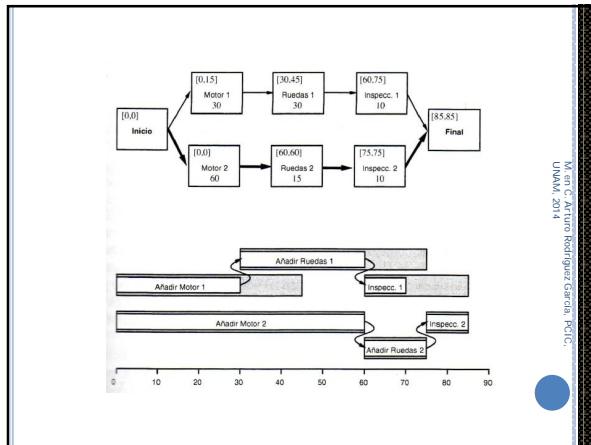
TIEMPO Y RECURSOS

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

TIEMPO

- En algunos dominios es importante conocer cuando empiezan y terminan las acciones, y no sólo el orden en el que ocurren las acciones.
- Se denomina **programación de actividades** a los problemas en los que se requiere completar un conjunto de tareas, cada una de las cuales consiste en una serie de acciones, y donde cada acción tiene una duración determinada y puede requerir varios recursos.
- El objetivo es encontrar un plan que minimice el tiempo total requerido para completar todas las tareas, respetando las restricciones impuestas a los recursos.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014



- La **ruta crítica** es el camino del plan que presenta la máxima duración, por lo que corresponde a la duración del plan completo. En los otros caminos puede haber tiempo de sobra (**holguras o intervalos de relajación**).

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

RESTRICCIONES DE RECURSOS

- Recursos reutilizables** son aquellos que se encuentran ocupados durante una acción pero se vuelven disponibles cuando ésta termina.
- Recursos consumibles** son aquellos que sólo se pueden utilizar una vez.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

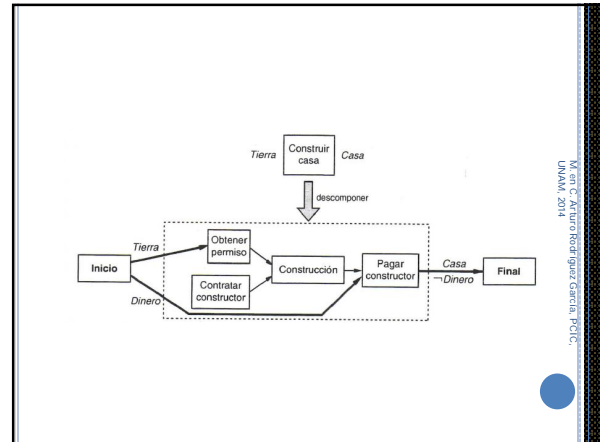
REDES DE PLANIFICACIÓN JERÁRQUICA

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

REDES JERÁRQUICAS DE TAREAS (RJTs)

- El plan inicial que describe el problema se ve como una descripción de alto nivel de lo que debe ser hecho.
- Los planes son mejorados por descomposición de acciones (reducir una acción de alto nivel a un conjunto parcialmente ordenado de acciones de menor nivel).
- El proceso continua hasta que solamente queden acciones primitivas.

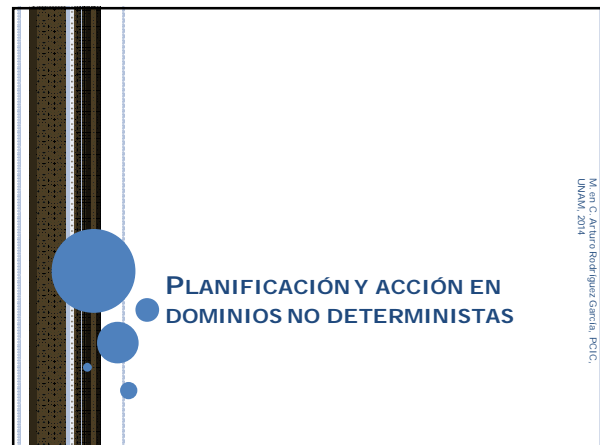
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014



M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

- Esta técnica aprovecha el conocimiento del humano que diseñó la librería de descomposición de acciones.
- Una misma acción puede tener distintas descomposiciones.
- Problemas:
 - Recursividad de acciones.
 - Efectos internos contradictorios entre dos conductas de alto nivel.
- Existen métodos para combinar POP con RJTs.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014



M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

PLANIFICACIÓN NO CLÁSICA

- En un entorno con incertidumbre, el agente debe usar sus percepciones para descubrir qué está sucediendo mientras el plan está siendo ejecutado y poder modificarlo si algo falla.
- La información incompleta surge al trabajar en entornos parcialmente observables o no deterministas. En estos casos, el modelo del mundo es débil, pero correcto.
- La información incorrecta surge cuando el mundo no se comporta como el modelo predice.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

INDETERMINACIÓN

- Indeterminación limitada.- se conocen los posibles efectos. Por ejemplo, lanzar una moneda. Los métodos para trabajar con ella son:
 - Planificación sin sensores
 - Planificación condicional
- Indeterminación ilimitada.- el conjunto de posibles efectos es desconocido o demasiado extenso para ser enumerado completamente. Los métodos para trabajar con ella son:
 - Vigilancia de ejecución y replanificación
 - Planificación continua

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

VIGILANCIA DE EJECUCIÓN Y REPLANIFICACIÓN

- El agente usa una técnica de planificación para construir un plan (por ejemplo, planificación clásica, sin sensores o condicional).
- Emplea un procedimiento de vigilancia de ejecución para juzgar si el plan tiene capacidad de cumplirse dado el estado actual o necesita ser revisado.
- La replanificación ocurre cuando algo va mal.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014



PLANIFICACIÓN CONTINUA

- Un planificador continuo está diseñado para persistir a lo largo del tiempo.
- Debe tratar con circunstancias inesperadas en el entorno.
- Puede abandonar objetivos y formular nuevos.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014



PLANIFICACIÓN MULTIAGENTE

- Necesaria cuando existen varios agentes en el entorno con los que cooperar, competir o coordinarse.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014



REFERENCIAS

- Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno. Stuart Russell y Peter Norvig. Capítulo 12.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014

