



DECSAI

Departamento de Ciencias de la Computación e I.A.

Universidad de Granada



Planificación de orden parcial

Fernando Berzal, berzal@acm.org

Planificación de orden parcial

- Anomalía de Sussman
- NOAH [Nets of Action Hierarchies]
- POP [Partial Order Planning]
 - Vínculos causales y amenazas
 - Algoritmo
 - Heurísticas

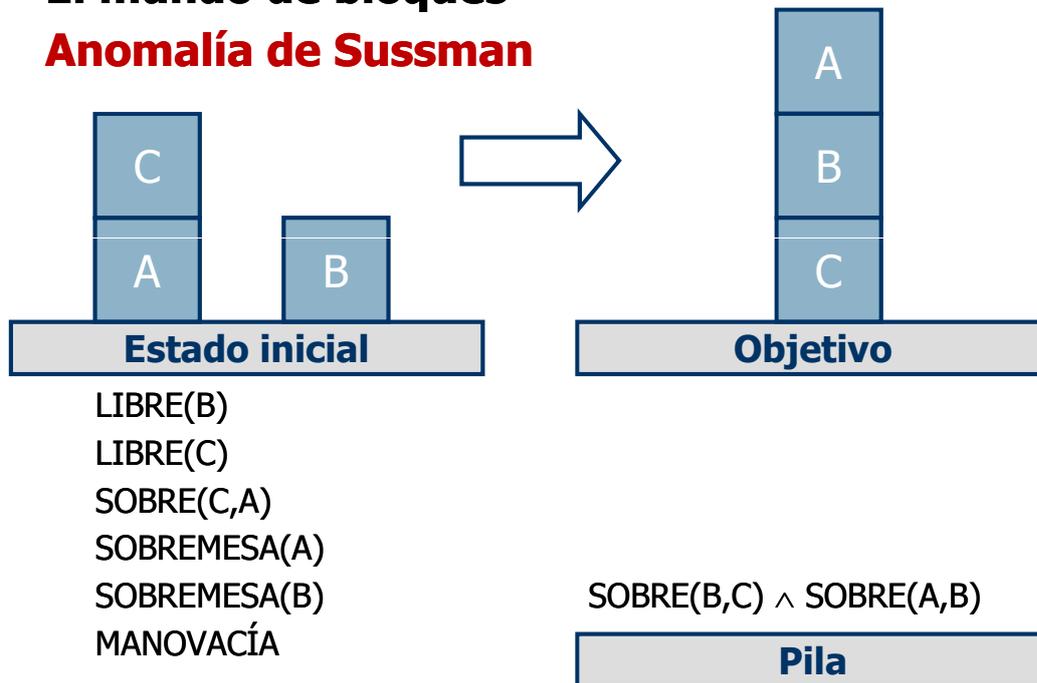


Anomalía de Sussman



El mundo de bloques

Anomalía de Sussman



Anomalía de Sussman



El mundo de bloques

Anomalía de Sussman

Caso 1: SOBRE(A,B)

SOBRE(A,B)

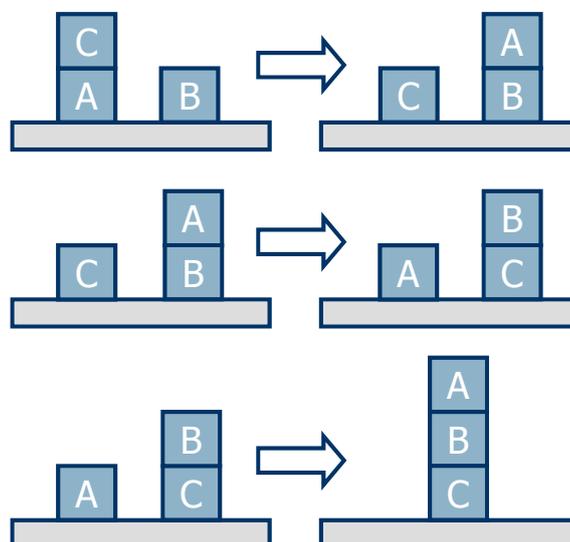
- Dejar C sobre la mesa.
- Colocar A sobre B.

SOBRE(B,C)

- Dejar A en la mesa.
- Colocar B sobre C.

SOBRE(A,B) **[bis]**

- Colocar A sobre B.



Anomalía de Sussman



El mundo de bloques

Anomalía de Sussman

Caso 2: SOBRE(B,C)

SOBRE(B,C)

- Colocar B sobre C.

SOBRE(A,B)

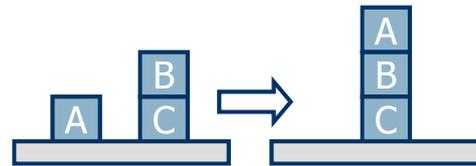
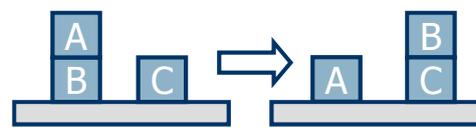
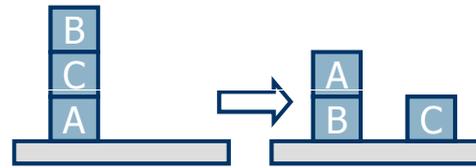
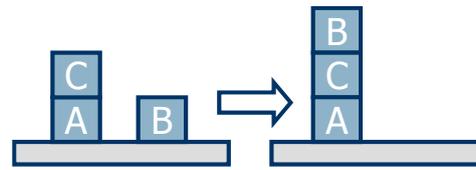
- Dejar B sobre la mesa.
- Dejar C sobre la mesa.
- Colocar A sobre B.

SOBRE(B,C) **[bis]**

- Dejar A sobre la mesa.
- Colocar B sobre C.

SOBRE(A,C) **[bis]**

- Colocar A sobre B



Anomalía de Sussman



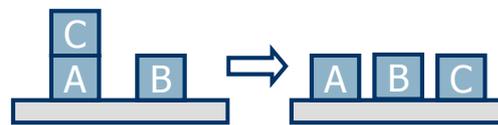
El mundo de bloques

Anomalía de Sussman

Entrelazado de planes para lograr la solución óptima

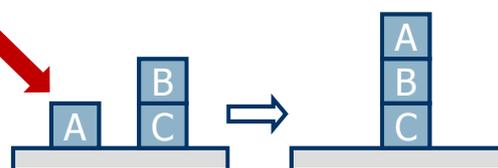
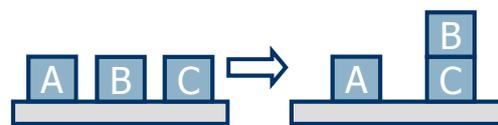
Solución más corta para SOBRE(A,B)

- Dejar C sobre la mesa.
- Colocar A sobre B.



Solución más corta para SOBRE(B,C)

- Colocar B sobre C.





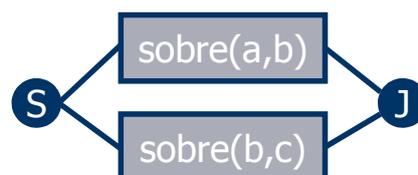
Nets of Action Hierarchies

(Earl D. Sacerdoti, Stanford Research Institute, 1975)

- Los planes se tratan de forma explícita como un conjunto de pasos parcialmente ordenado (no lineal).
- El orden concreto de las acciones sólo se establece cuando resulta necesario para garantizar los objetivos.
- Evita los problemas de STRIPS (que, al centrarse en un objetivo, deshacía lo ya conseguido).

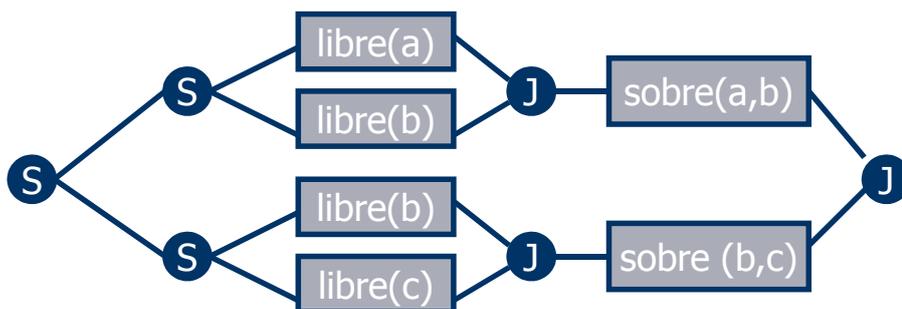
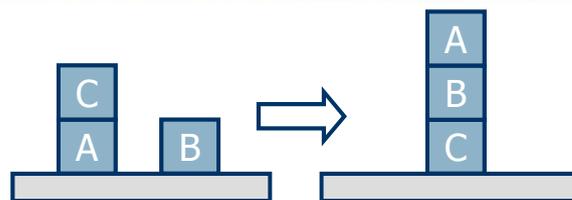


Nets of Action Hierarchies



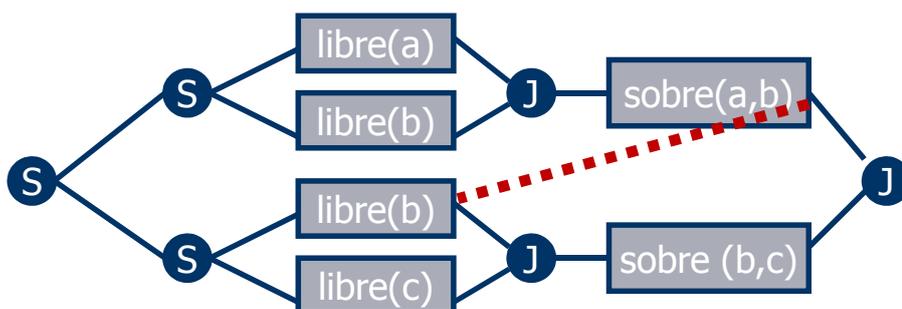
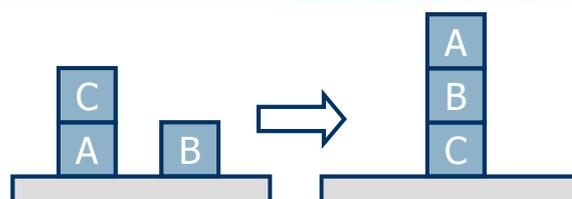


Nets of Action Hierarchies



Nets of Action Hierarchies

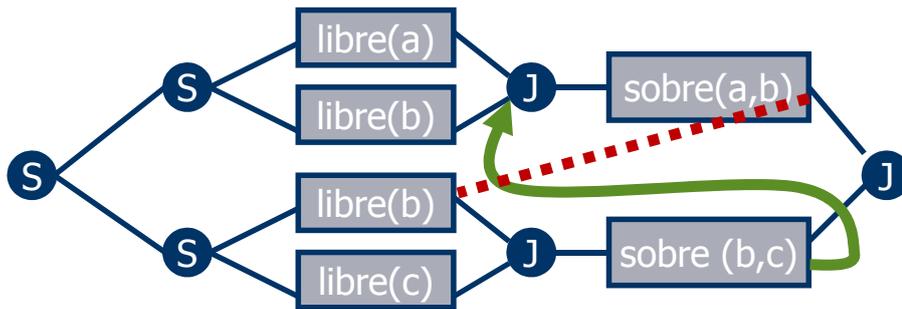
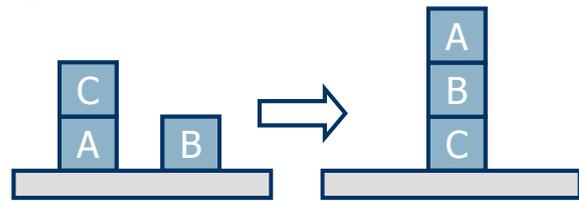
Conflicto



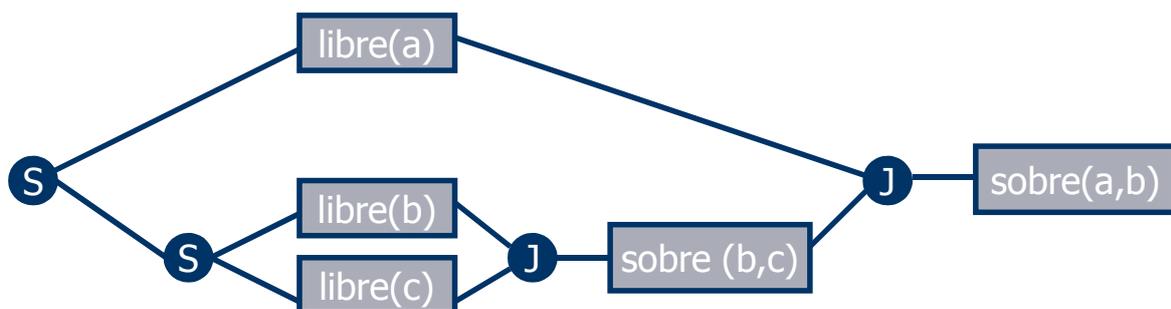
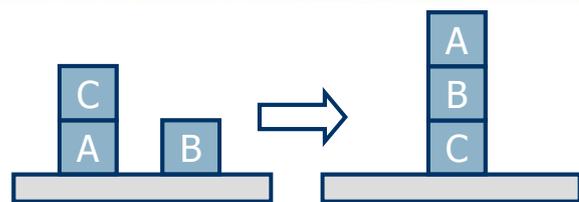


Nets of Action Hierarchies

Resolución del conflicto

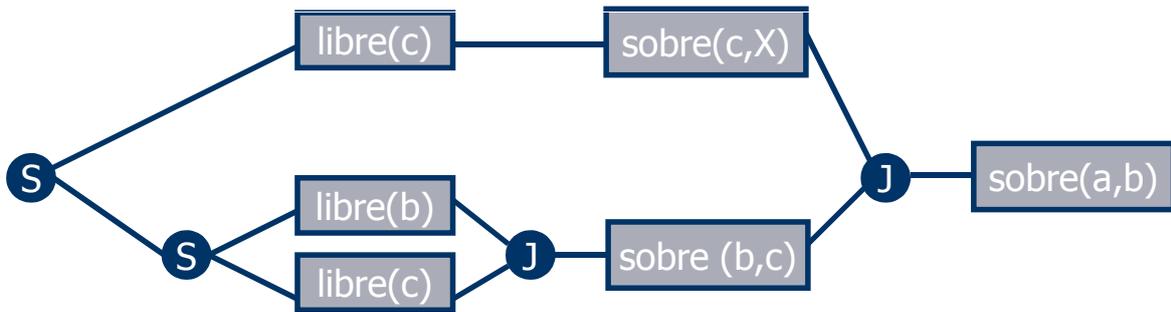
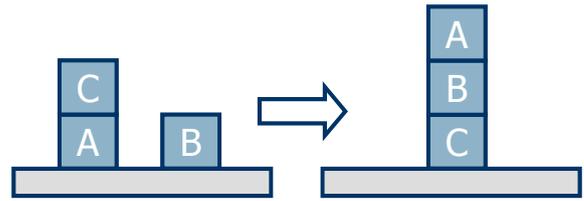


Nets of Action Hierarchies



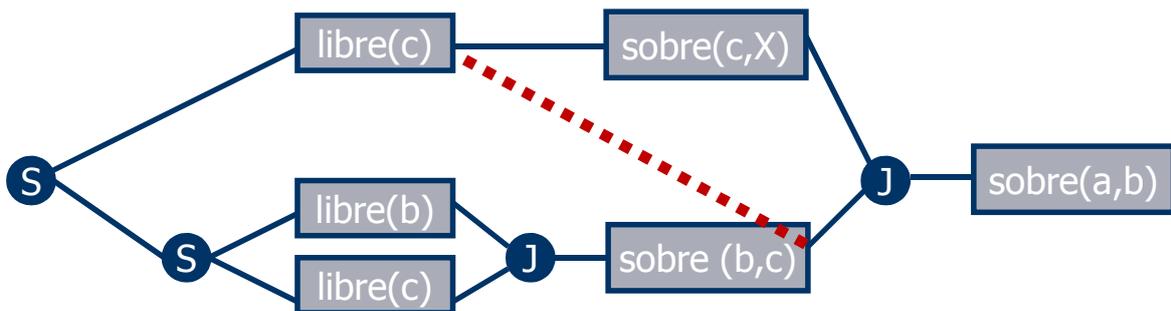
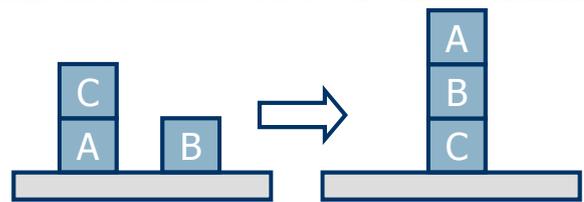


Nets of Action Hierarchies



Nets of Action Hierarchies

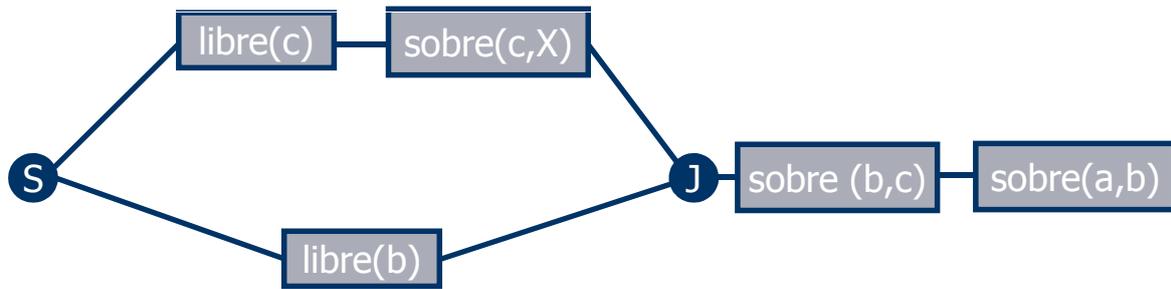
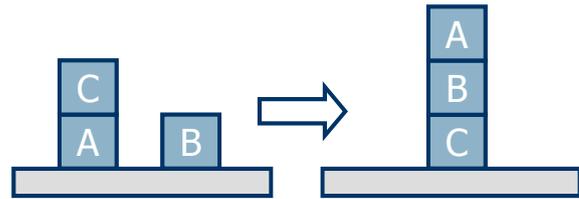
Nuevo conflicto



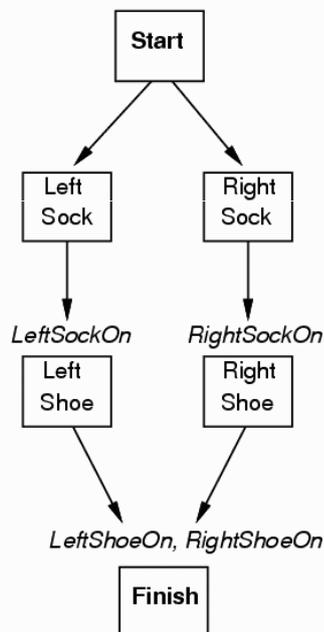


Nets of Action Hierarchies

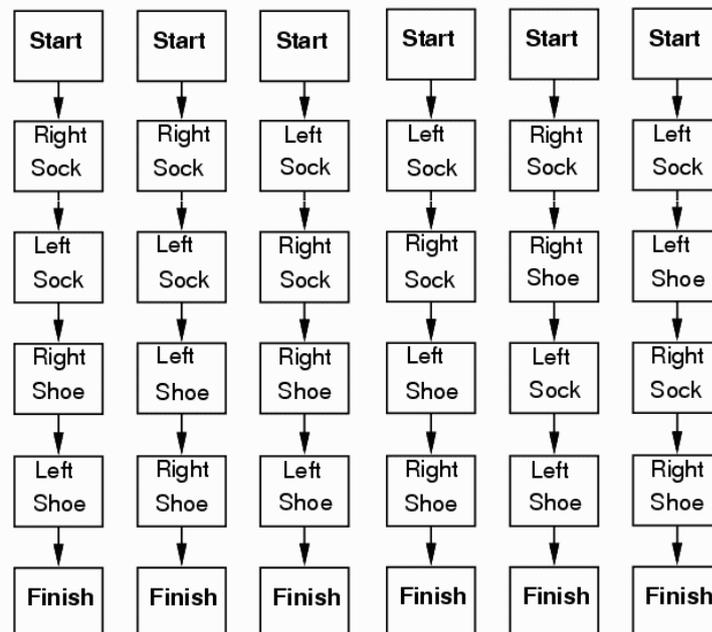
Plan final



Partial Order Plan:



Total Order Plans:



Partial Order Planning

- En vez de especificar planes con acciones totalmente ordenadas de forma lineal, se especifican planes con acciones parcialmente ordenadas.
- Un plan parcialmente ordenado se corresponde con un conjunto de planes totalmente ordenados.
- Se reduce el espacio de búsqueda en el espacio de planes: Un plan de orden parcial considera de forma simultánea muchos planes totalmente ordenados.



Planificador de orden parcial

Planificador capaz de representar planes en los que algunos pasos se ordenan en relación con los demás y otros no están ordenados.

Planificador de orden total

Planificador en la que los planes están formados por una única lista de pasos.

Linealización de un plan de orden parcial

Obtención de un plan de orden total a partir de un plan de orden parcial al que se le añaden restricciones de orden.



Plan de orden parcial

- Conjunto de nodos (operadores o acciones)
- Conjunto de relaciones de orden: $s_i < s_j$
(s_i debe producirse en algún momento anterior a s_j)
- Conjunto de restricciones sobre variables, p.ej. $X=A$
- Conjunto de vínculos causales: $s_i \xrightarrow{c} s_j$
(s_i logra c para s_j)



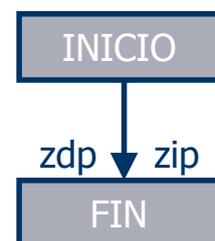
Plan inicial

(con dos operadores ficticios: INICIO y FIN)

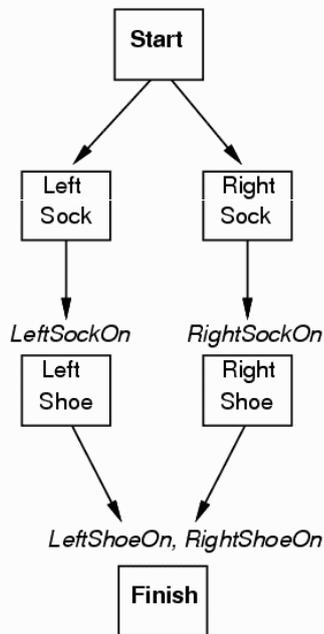
```

PLAN (
  NODOS : {
    s1 : OP (ACCION: INICIO,
             PRE:{},
             EFECTOS:{}),
    s2 : OP (ACCION: FIN,
             PRE: {ZapatoDerechoPuesto ∧ ZapatoIzquierdoPuesto},
             EFECTOS :{ } )
  },
  ORDEN : {s1 < s2},
  RESTRICCIONES : {},
  VINCULOS : {}
)

```



Hipótesis de menor compromiso



Aunque sea necesario ocuparse de las decisiones que actualmente afecten al éxito de nuestro plan, dejamos cualquier otra decisión para más tarde.

¿Qué calcetín nos ponemos primero?
No determinamos de antemano un orden.



Solución = Plan completo y consistente

Plan completo:

Cada precondition de cada operador se debe de satisfacer mediante otro operador.

s_i logra una precondition c de s_j si se cumplen las tres condiciones siguientes:

1. $s_i < s_j$
2. $c \in \text{EFECTOS}(s_i)$
3. No existe un s_k tal que $\neg c \in \text{EFECTOS}(s_k)$ y $s_i < s_k < s_j$ en alguna linealización del plan.



Solución = Plan completo y consistente

Plan consistente:

No hay contradicciones en las restricciones de orden ni en las restricciones sobre variables.

- $\{s_i < s_j, s_j < s_k, s_k < s_i\}$ sería inconsistente.
- $\{x=A, x=B\}$ sería inconsistente.

NOTA

Total linealización de una solución es también una solución.



22

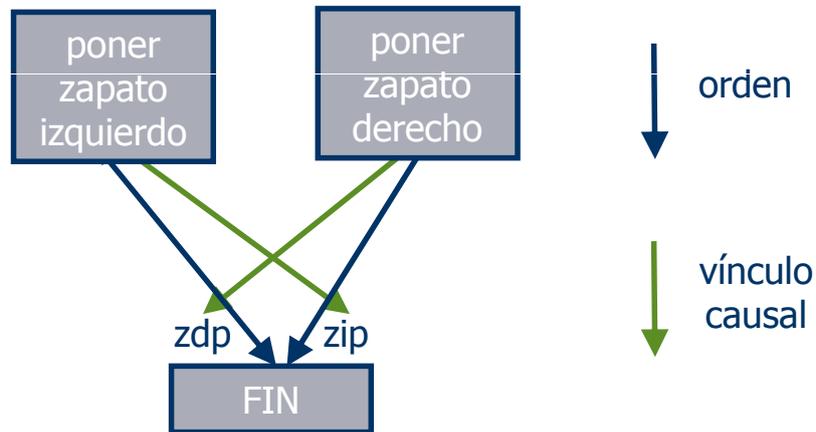
POP - Vínculos causales

- Los vínculos causales entre acciones y condiciones indican que la acción consigue cada precondition.
- Los vínculos causales “protegen” la precondition: si una acción elimina la precondition, entonces no debe insertarse entre la acción y la precondition.
- Los vínculos causales también representan relaciones de orden.



23

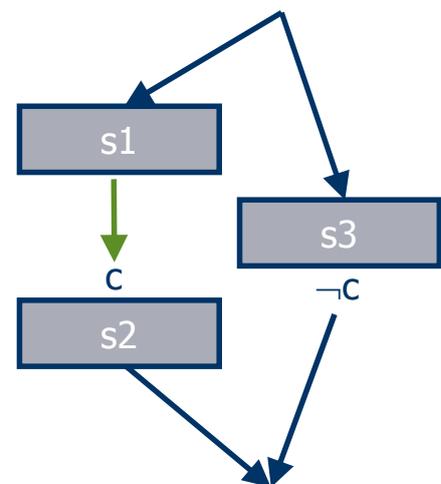
POP - Vínculos causales



POP - Amenazas



Una amenaza para un vínculo causal es una acción que destruye el efecto del vínculo y que se puede intercalar entre la acción y su efecto.

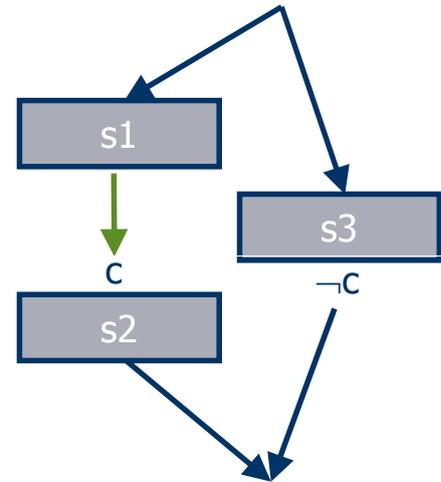


POP - Amenazas



Para resolver las amenazas, se añaden restricciones de orden:

Nos aseguramos de que la acción que amenaza (s3) no interviene en el vínculo causal (de s1 a s2).

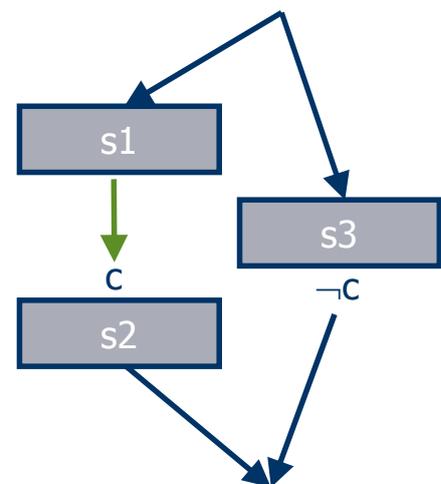


POP - Amenazas



Dos formas de resolver amenazas:

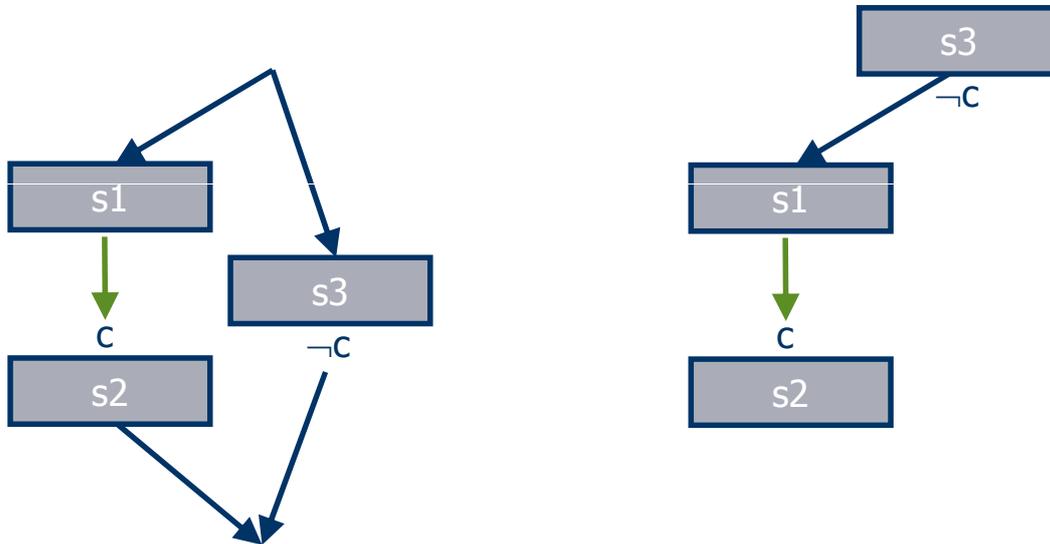
- **Degradación:**
La acción que amenaza se realiza antes del vínculo causal.
- **Ascenso:**
La acción que amenaza se realiza después del vínculo causal.



POP - Amenazas



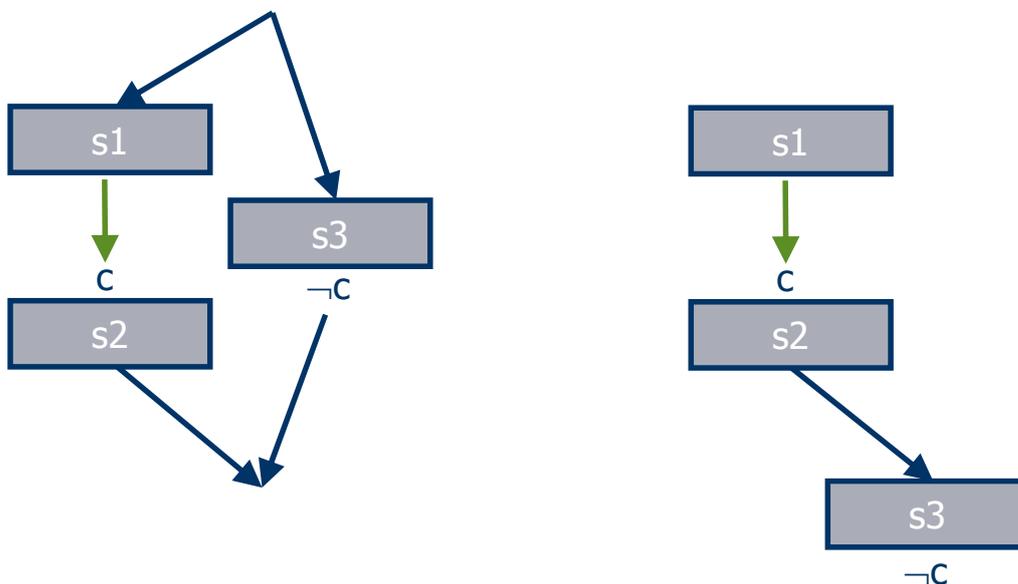
Degradación [demotion]



POP - Amenazas



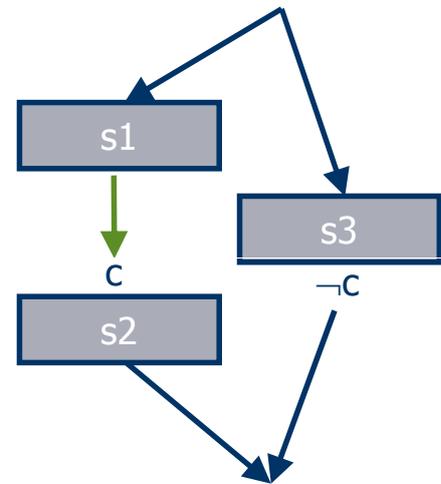
Ascenso [promotion]



POP - Amenazas



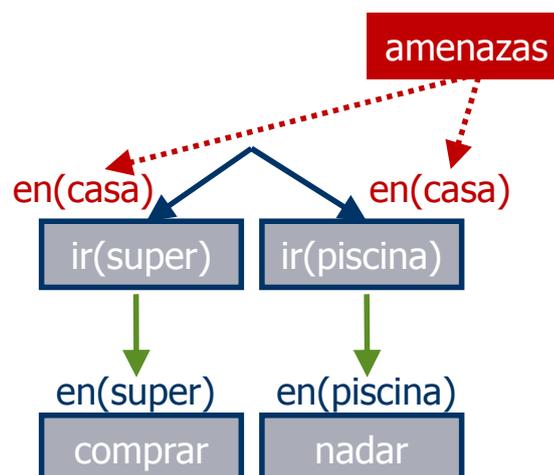
Cuando el planificador no pueda resolver las amenazas (usando los mecanismos de degradación o ascenso), tiene que renunciar al plan actual y buscar una opción alternativa para alguno de los pasos del plan (usando algoritmos de búsqueda).



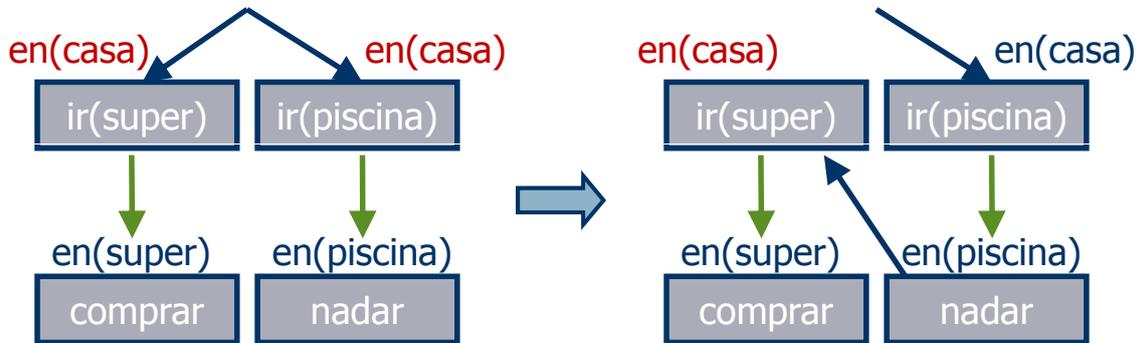
POP - Amenazas



Estas amenazas no se pueden resolver directamente (las dos acciones se amenazan mutuamente y ningún orden permite resolverlas).



POP - Amenazas

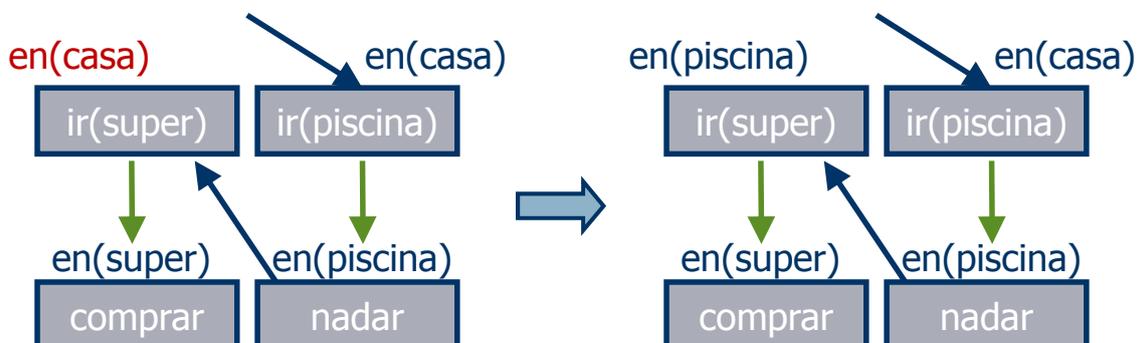


Hay que buscar...

p.ej. cómo volver a casa después de nadar o...



POP - Amenazas



Hay que buscar...

p.ej. cómo ir al supermercado desde la piscina



POP - Algoritmo



El plan solución es $\langle A, O, L \rangle$, donde

- A son las acciones del plan
- O son las restricciones de orden
- L son los vínculos causales

Agenda

Precondiciones que conseguir: pares $\langle Q, A \rangle$, donde

- A es una acción del plan
- Q es una precondición pendiente.



POP - Algoritmo



POP ($\langle A, O, L \rangle$, agenda, actions)

if agenda = $\{\}$ then **return** $\langle A, O, L \rangle$

pick (Q, a_{need}) from agenda

$a_{\text{add}} = \mathbf{choose}$ (actions) s.t. $Q \in \text{effects}(a_{\text{add}})$

if no such action a_{add} exists, **fail**.

$L' := L \cup (a_{\text{add}}, Q, a_{\text{need}})$

$O' := O \cup (a_{\text{add}} < a_{\text{need}})$

agenda' := agenda - (Q, a_{need})

if a_{add} is new

$A := A \cup a_{\text{add}}$ and

$\forall P \in \text{preconditions}(a_{\text{add}})$, add (P, a_{add}) to agenda'

For every action a_t that threatens any causal link (a_p, Q, a_c) in L'

choose to add $a_t < a_p$ or $a_c < a_t$ to O.

if neither choice is consistent, **fail**.

POP($\langle A', O', L' \rangle$, agenda, actions)



POP - Algoritmo



El algoritmo POP es...

- Correcto (devuelve soluciones válidas).
- Completo (si existe, siempre encuentra una solución).
- Sistemático (evita repeticiones).
- Particularmente bueno para problemas de planificación con objetivos que interactúan.



POP - Algoritmo



Heurísticas para selección de planes

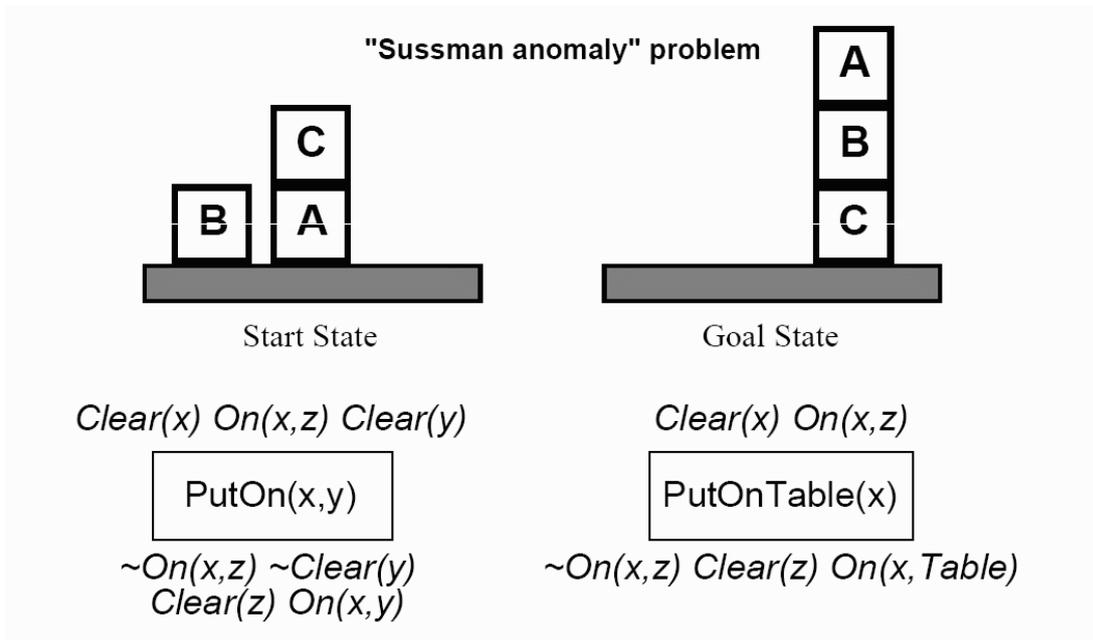
- N: Número de pasos
- OP: Precondiciones sin resolver.

Frecuentemente, se utiliza un algoritmo A* con

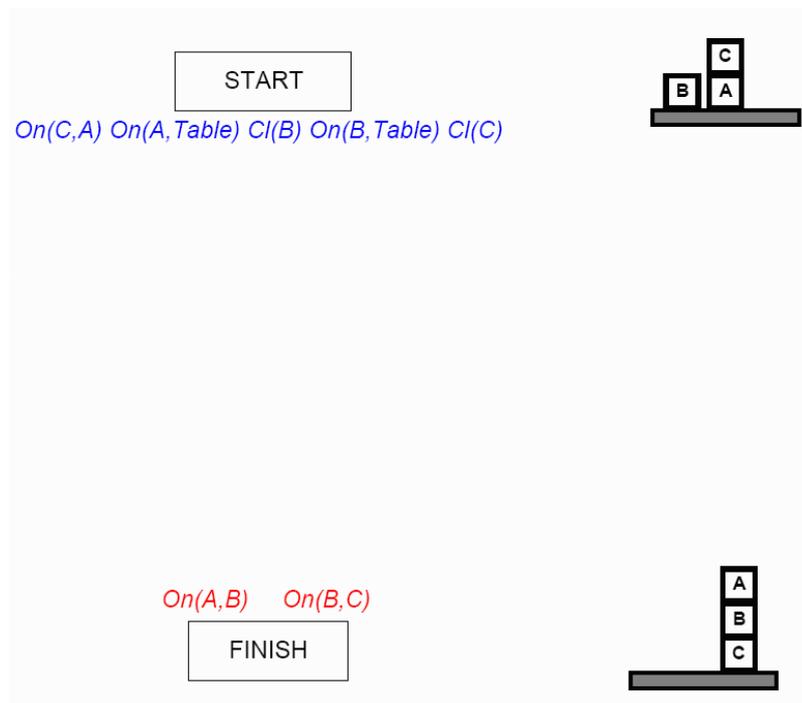
$$f(P) = N(P) + OP(P)$$



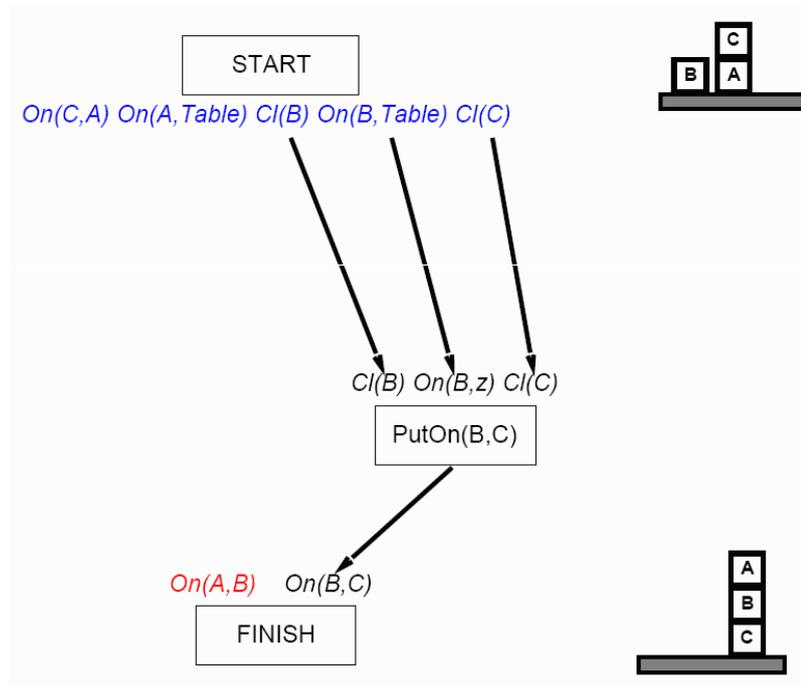
POP - Anomalía de Sussman



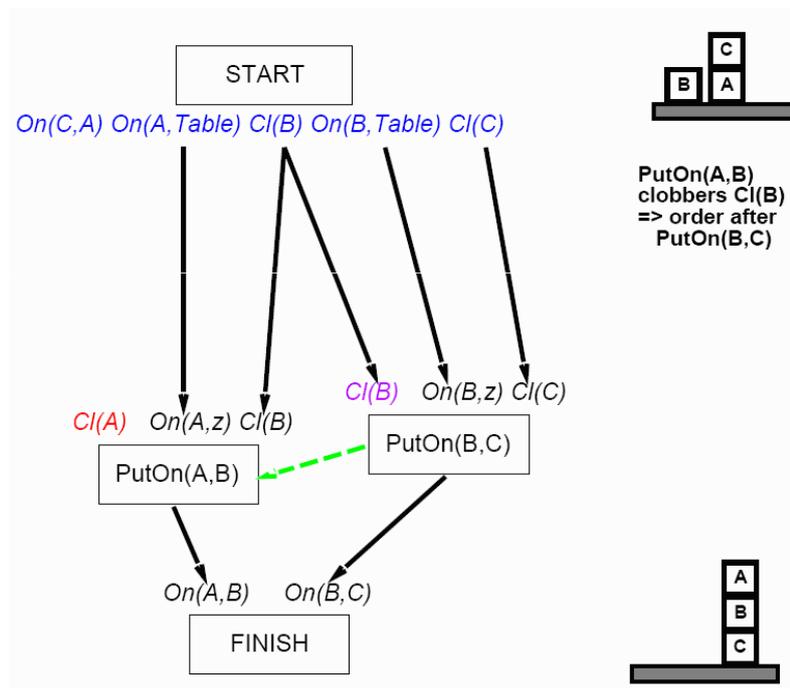
POP - Anomalía de Sussman



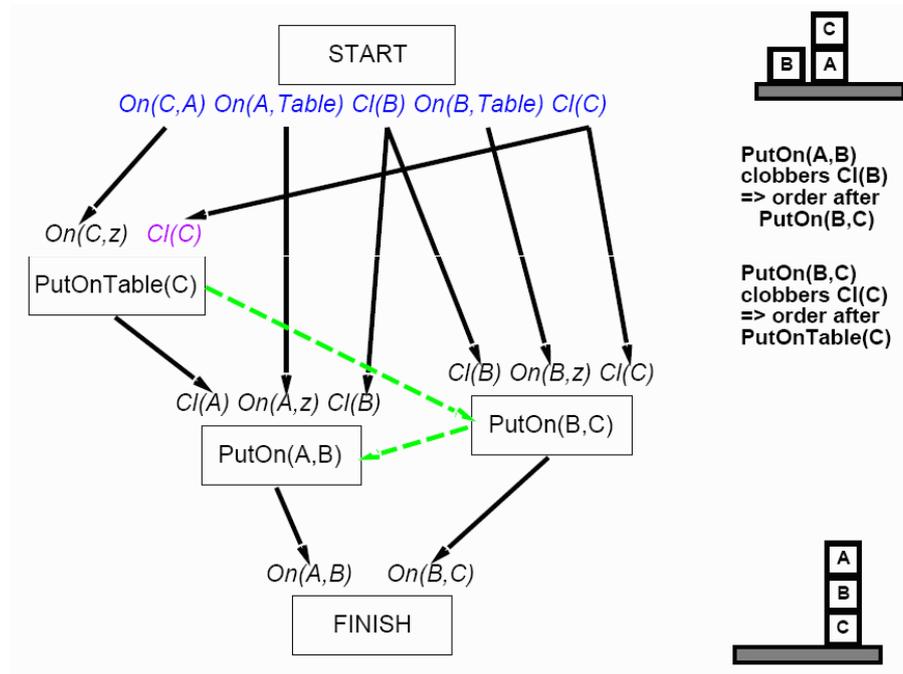
POP - Anomalía de Sussman



POP - Anomalía de Sussman



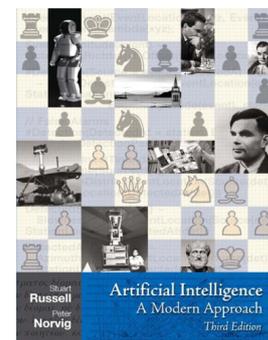
POP - Anomalía de Sussman



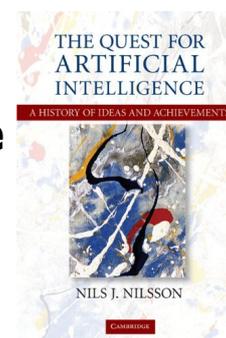
Bibliografía



- Stuart Russell & Peter Norvig:
**Artificial Intelligence:
A Modern Approach**
Prentice-Hall, 3rd edition, 2009
ISBN 0136042597
<http://aima.cs.berkeley.edu/>



- Nils J. Nilsson
The Quest for Artificial Intelligence
Cambridge University Press, 2009
ISBN 0521122937
<http://ai.stanford.edu/~nilsson/QAI/qai.pdf>





Cursos de planificación

- **MSC Automated Planning**

School of Informatics

University of Edinburgh

<http://www.inf.ed.ac.uk/teaching/courses/plan/>

También en Coursera:

<https://www.coursera.org/course/aiplan>

- **CS541: Artificial Intelligence Planning**

USC Viterbi School of Engineering

University of Southern California

<http://www.isi.edu/~blythe/cs541/>

