

# **Intel·ligència artificial**

2024/2025

Pràctica 2

Claudia Rebeca Hodoroga (u1988492)  
claudiahodoroga@outlook.com

Esta práctica ha sido realizada de forma individual. El documento incluye el análisis de los dominios y problemas PDDL, la implementación de las soluciones, y el análisis de los resultados y heurísticas.

### Descripción de la solución propuesta

El dominio *labyrinth* representa un laberinto simple donde Grimmy se puede mover entre ubicaciones, recoger llaves, desbloquear pasadizos y obtener el tesoro. El dominio *labyrinth-perillos* añade funcionalidades para crear laberintos más complejos.

Se han definido los siguientes tipos:

- Ubicacio: representa las habitaciones en el laberinto.
- Color: representa los colores de las llaves y los candados.
- Clau: representa las llaves que pueden usarse para desbloquear pasadizos.
- Passadis: representa los pasadizos que conectan habitaciones.

Se han utilizado los siguientes predicados para los laberintos simples:

Predicado	Definición
(grimmy-a ?loc - ubicacio)	Indica que Grimmy está en la ubicación ?loc
(connecta ?pas - passadis ?loc1 ?loc2 - ubicacio)	El pasadizo ?pas conecta las ubicaciones ?loc1 y ?loc2
(bloquejat ?pas - passadis ?col - color)	El pasadizo ?pas está bloqueado con un candado del color ?col
(clau-a ?c - clau ?loc - ubicacio)	La llave ?c está en la ubicación ?loc
(te-clau ?c - clau)	Grimmy tiene la llave ?c
(color-clau ?c - clau ?col - color)	La llave ?c es del color ?col
(tesor-a ?loc - ubicacio)	El tesoro está en la ubicación ?loc
(te-tesor)	Grimmy tiene el tesoro

Y para los laberintos peligrosos, unos predicados adicionales:

Predicado	Definición
(perillos ?pas - passadis)	El pasadizo ?pas es peligroso y puede derrumbarse
(esfondrat ?pas - passadis)	El pasadizo ?pas está derrumbado
(obert ?pas - passadis)	El pasadizo ?pas está abierto (no bloqueado)
(us-infinet ?c - clau)	La llave ?c tiene usos infinitos
(un-us ?c - clau)	La llave ?c tiene un solo uso
(dos-usos ?c - clau)	La llave ?c tiene dos usos

(usos-disponibles ?c - clau)	La llave ?c aún tiene usos disponibles
------------------------------	--

Las acciones disponibles son las siguientes:

- Moure: permite a Grimmy moverse de una ubicación a otra a través de un pasadizo si no está bloqueado.
  - En los laberintos peligrosos, se comprueba si el pasadizo está derrumbado antes, y si es peligroso se derrumba después de usarlo.
- Recollir: permite a Grimmy recoger una llave en la ubicación en la que se encuentre.
- Deixar: permite a Grimmy dejar una llave en la ubicación en la que se encuentra.
- Desbloquear: permite a Grimmy desbloquear un pasadizo bloqueado usando una llave del mismo color que el candado.
  - En los laberintos peligrosos, se implementa la lógica de número de usos de llaves, con llaves de un uso y de múltiples usos.

### Análisis de resultados y heurísticas

Analizando los resultados de ejecución para los diferentes problemas, se pueden observar patrones interesantes. Los archivos con los resultados se pueden encontrar en el directorio RESULTADOS.

#### Problema 1 (p1-lab y p1-lab-perillos)

Aspecto	p1-lab	p1-lab-perillos	Diferencia
Longitud del plan	24 pasos	27 pasos	+3 pasos
Estados evaluados	357	107	-250 estados
Nodos expandidos	202	55	-147 nodos
Tiempo de planificación	731 ms	856 ms	+134ms
Valor heurístico inicial	33.0	205.0	+172

El problema con pasadizos peligrosos requiere un plan más largo, aunque expande y evalúa menos estados. Esto indica que el planificador encuentra restricciones que le permiten podar más ramas del espacio de búsqueda. La diferencia entre el valor heurístico inicial muestra cómo las restricciones afectan la estimación del coste.

#### Problema 2 (p2-lab y p2-lab-perillos)

Aspecto	p1-lab	p1-lab-perillos	Diferencia
Longitud del plan	20 pasos	20 pasos	0 pasos
Estados evaluados	77	49	-28 estados
Nodos expandidos	33	21	-12 nodos
Tiempo de planificación	508 ms	582 ms	+74 ms

Valor heurístico inicial	30.0	180.0	+150
--------------------------	------	-------	------

Ambas versiones encuentran planes de igual longitud, por lo que las restricciones adicionales no afectan la ruta óptima. Este problema no contiene candados rojos, así que es coherente. Sin embargo, el valor heurístico es significativamente mayor en la versión peligrosa.

### Problema 3 (p3-lab y p3-lab-perillos)

Aspecto	p3-lab	p3-lab-perillos	Diferencia
Longitud del plan	4 pasos	13 pasos	+9 pasos
Estados evaluados	6	38	+32 estados
Nodos expandidos	5	14	+9 nodos
Tiempo de planificación	1546 ms	1750 ms	+204 ms
Valor heurístico inicial	4.0	245.0	+241

Este ejercicio muestra la mayor diferencia entre versiones, con un plan 3 veces más largo en la versión peligrosa. El valor heurístico inicial también es drásticamente mayor. La versión peligrosa implica desbloquear pasadizos, intercambiar llaves, y tomar una ruta más compleja, mientras que la simple solo requiere 4 movimientos directos.

El heurístico  $h^+$  representa el coste óptimo de alcanzar la meta en el problema donde las precondiciones negativas se ignoran (aquellas en las que no hay efectos que eliminen predicados). El heurístico  $h^{\max}$  representa el coste máximo entre las metas del problema, considerando cada meta de forma independiente. En este caso, la única meta es que Grimmy tenga el tesoro.

Para realizar una estimación general del heurístico  $h^+$  para todos los problemas, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- En los problemas simples: se ignora la limitación de que Grimmy solo puede llevar una llave a la vez; se subestima la longitud real de los planes.
- En los problemas peligrosos: se ignora que los pasadizos peligrosos se derrumban y que las llaves tienen usos limitados.

Problema	$h^+$ estimado	Plan real	Ratio
resultat-1	~13	24	1.85x
resultat-2	~10	20	2.00x
resultat-3	~4	4	1.00x
resultat-1-perillos	~15	27	1.90x
resultat-2-perillos	~12	20	1.67x

resultat-3-perillos	~8	13	1.63x
---------------------	----	----	-------

La estimación  $h^+$  tiende a subestimar la longitud real por un factor de entre 1.6-2.0, excepto en el caso del resultat-3.

En el caso del heurístico  $h^{\max}$ , se pueden hacer estas observaciones:

- En los problemas simples: suele coincidir con la secuencia para obtener la llave más difícil de acceder porque se enfoca en el camino crítico más largo para alcanzar la meta.
- En los problemas peligrosos: los pasadizos peligrosos afectan al camino crítico y se deben considerar las restricciones para llaves de usos limitados, puede ser necesario encontrar rutas alternativas.

Problema	$h^{\max}$ estimado	$h(n=s_0)$ del planificador
resultat-1	~13	33.0
resultat-2	~10	30.0
resultat-3	~4	4.0
resultat-1-perillos	~15	205.0
resultat-2-perillos	~12	180.0
resultat-3-perillos	~8	245.0

El planificador utiliza Greedy Best-First Search con el heurístico hadd. Los valores de hadd son mucho mayores porque suma la dificultad de lograr todos los objetivos, esto tiende a sobreestimar el costo real. Sin embargo, esta diferencia indica que el planificador detecta correctamente con mayor complejidad; la sobreestimación es mayor porque considera todos los efectos condicionales. Se encuentran soluciones relativamente rápido.

Para demostrar la metodología de estimación, se toma el ejemplo de p1-lab-perillos:

- Objetivo final: Grimmy debe obtener el tesoro en loc-1-3
- Dependencias para alcanzarlo:
  - Para llegar a loc-1-3, desbloquear c1323 con clau3
  - Para desbloquear c1323, obtener clau3 de loc-2-4
  - Para llegar a loc-2-4, desbloquear c2324 con clau4
  - Para obtener clau4, llegar a loc-4-4
  - Para llegar a loc-4-4, desbloquear c4344 con clau2
  - Para obtener clau2, llegar a loc-4-2
  - Para llegar a loc-4-2, desbloquear c3242 con clau1
  - Para obtener clau1, llegar a loc-2-2
- Estimación del plan relajado:
  - Moverse desde loc-2-1 a loc-2-2: 1 acción
  - Recoger clau1: 1 acción
  - Desbloquear c3242: 1 acción
  - Moverse a loc-4-2: 2 acciones (pasando por loc-3-2)

- Recoger clau2: 1 acción
- Desbloquear c4344: 1 acción
- Moverse a loc-4-4: 1 acción
- Recoger clau4: 1 acción
- Desbloquear c2324: 1 acción
- Moverse a loc-2-4: 2 acciones
- Recoger clau3: 1 acción
- Desbloquear c1323: 1 acción
- Moverse a loc-1-3: 1 acción
- **Total: 15 acciones**
- Para  $h^{\max}$ : el camino crítico es el mismo que para  $h^+$ ;  $h^{\max} = 15$

El plan real tiene 27 pasos porque Grimmy debe dejar y recoger llaves, algunos pasadizos son peligrosos y requieren rutas alternativas, y las llaves tienen usos limitados que afectan a la estrategia. Además, hadd obtiene un resultado mayor porque suma el coste de cada submeta por separado, considerando los factores mencionados y las interacciones entre todos ellos.

El análisis de estos tres ejemplos muestra cómo las heurísticas juegan un papel importante en la planificación automatizada. Heurísticas con  $h^+$  y  $h^{\max}$  proporcionan estimaciones teóricas sobre el coste mínimo, mientras que el planificador con hadd logra encontrar soluciones óptimas evaluando más estados del problema.