UNIVERSIDAD DE GRANADA

DECSAI

Técnicas de los Sistemas Inteligentes

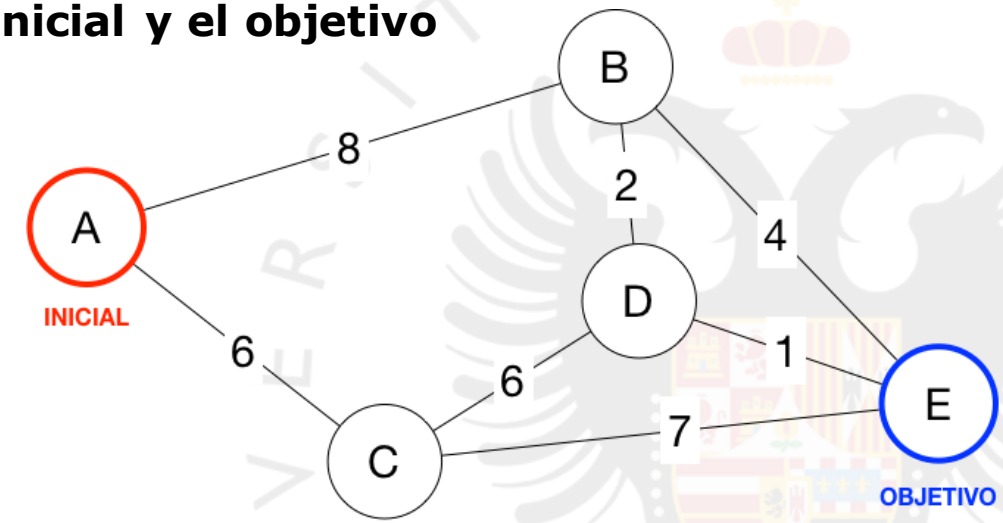
Grado en Informática

Curso 2021-22. Práctica 1
Algoritmos BFS, DFS y A*

Jesús Giráldez Crú y Pablo Mesejo Santiago

Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial
http://decsai.ugr.es

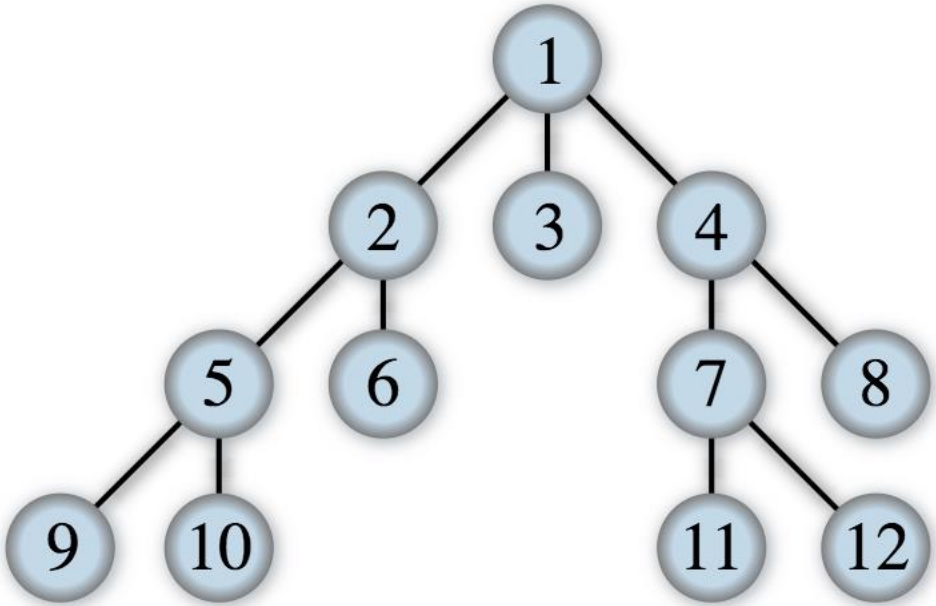
- **Input:**
  - **Un grafo**
  - **Un nodo inicial**
  - **Un nodo objetivo**
  - **Una función heurística (sólo en búsqueda heurística)**
- **Output:**
  - **Una ruta entre el nodo inicial y el objetivo**



	A	B	C	D	E
h(n)	10	4	5	1	0

Búsqueda no informada: BFS y DFS

- Encuentra el camino óptimo (menor profundidad) cuando el coste de desplazamiento entre nodos es constante
  - Si el coste es variable, no se garantiza el óptimo
- Es muy ineficiente en tiempo y memoria
  - Tiempo: expande muchas ramas que no son útiles
  - Memoria: mantiene todo el árbol expandido



[S.J. Russel, P. Norvig. Artificial Intelligence: A modern approach. Pearson, 2020]

Búsqueda en anchura (BFS)

PSEUDOCÓDIGO

```
BFS(Nodo inicial, Nodo objetivo)
        estado[inicial] = VISITADO
        padre[inicial] = null
        Cola Q = [inicial]
        while ! Q.vacía()
                u = Q.extraer()
                if u==objetivo FIN
                for each v in sucesores(u)
                        if estado[v] == NOVISITADO
                                estado[v] = VISITADO
                                padre[v] = u
                                Q.encolar(v)
```

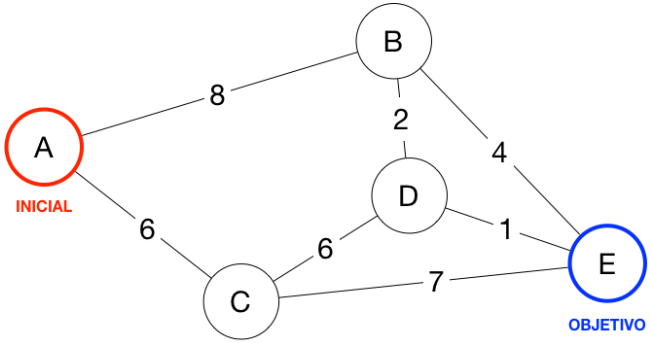
u es un nodo expandido!

Una sola cola y un estado asociado a cada nodo: más eficiente que usar dos colas (Abiertos y Cerrados)

Consumo de memoria: número de nodos visitados

Búsqueda en anchura (BFS)

EJEMPLO



	A	B	C	D	E
h(n)	10	4	5	1	0

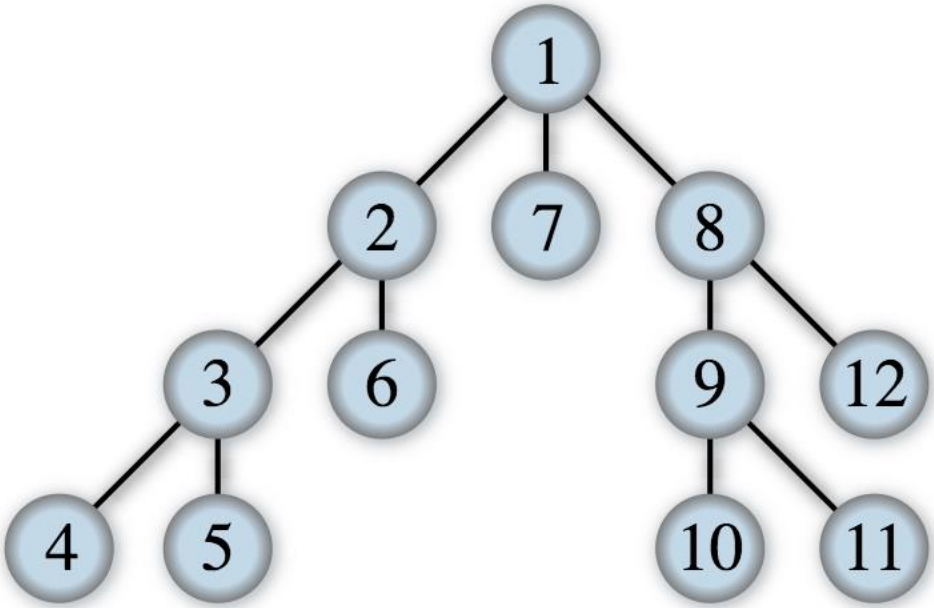
It.	Nodo expandido (nodo padre)	Cola	estado				
			A	B	C	D	E
0	-	[A]	V	NV	NV	NV	NV
1	A (-)	[B,C]	V	V	V	NV	NV
2	B (A)	[C,D,E]	V	V	V	V	V
3	C (A)	[D,E]	V	V	V	V	V
4	D (B)	[E]	V	V	V	V	V
5	E (B)	Fin. Camino encontrado: E – B – A					

V: visitado / NV: no visitado

Orden de expansión: orden alfabético (A,B,C, …)

No es óptimo!

- No garantiza encontrar el camino óptimo
  - Incluso si el coste de desplazamiento entre nodos es constante
- En el caso medio es más eficiente que BFS en tiempo
  - Sólo en el peor caso ambos algoritmos tardarán lo mismo
- Es más eficiente que BFS en memoria
  - Sólo requiere mantener en memoria la rama que se está explorando



[S.J. Russel, P. Norvig. Artificial Intelligence: A modern approach. Pearson, 2020]

Búsqueda en profundidad (DFS)

PSEUDOCÓDIGO

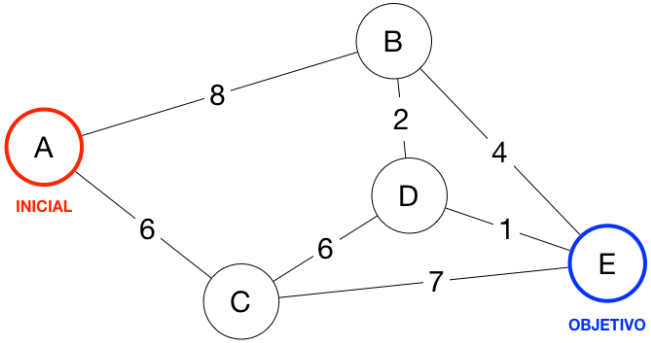
```
DFS(Nodo inicial, Nodo objetivo)
        estado[inicial] = VISITADO
        padre[inicial] = null
        DFS_search(inicial, objetivo)

DFS_search(Nodo u, Nodo objetivo)
        if u==objetivo return TRUE
        for each v in sucesores(u)
                if estado[v] == NOVISITADO
                        estado[v] = VISITADO
                        padre[v] = u
                        return DFS(v, objetivo)
        return FALSE
```

u es un nodo expandido!

Consumo de memoria: número de nodos visitados

Búsqueda en profundidad (DFS)

EJEMPLO



	A	B	C	D	E
h(n)	10	4	5	1	0

It.	Nodo expandido	Sucesores no visitados	Rama actual	Otras ramas pendientes de explorar (si la actual falla)
0	-	-	[A]	-
1	A	B,C	[A,B]	[A,C]
2	B	D,E	[A,B,D]	[A,B,E], [A,C]
3	D	C,E	[A,B,D,C]	[A,B,D,E], [A,B,E], [A,C]
4	C	E	[A,B,D,C,E]	[A,B,D,E], [A,B,E], [A,C]
5	E	Fin. Camino encontrado: E – C – D – B – A		-

Orden de expansión de sucesores: orden alfabético (A,B,C, …)

No es óptimo!

Otros algoritmos de búsqueda no informada

- Otros algoritmos de búsqueda no informada (**NO usados** en esta práctica):

- Algoritmo de Dijkstra (también llamado "coste uniforme")
  - Garantiza el óptimo incluso si el coste de desplazamientos es variable
  - Intuitivamente sigue una estrategia en "anchura"
  - Pero la cola de nodos pendientes de expansión se ordena por g(n)

- Profundidad iterativa (IDS)
  - Intuitivamente sigue una estrategia en "profundidad"
    - Menor consumo de memoria
  - También garantiza el camino óptimo al utilizar una profundidad acotada que iterativamente se va incrementando

- Ninguno utiliza información heurística
  - Las variantes heurísticas más similares son A* e IDA*

Dijkstra: [Dijkstra. 1959. A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik 1: 269-271]

IDS: [Korf. 1985. Depth-first Iterative-Deepening: An Optimal Admissible Tree Search. Artificial Intelligence. 27: 97–109]

Búsqueda heurística: A* e IDA*

- Ambos encuentran el camino óptimo
- Son algoritmos de búsqueda heurística offline: la búsqueda completa se realiza ANTES de la ejecución
- IDA* es una extensión de DFS: profundidad iterativa (lo cual asegura el camino óptimo) e información heurística (para el orden de expansión de los vecinos de un nodo)
- Comparativa entre ambos:
  - A* consume más memoria que IDA*
  - A* es más rápido que IDA*

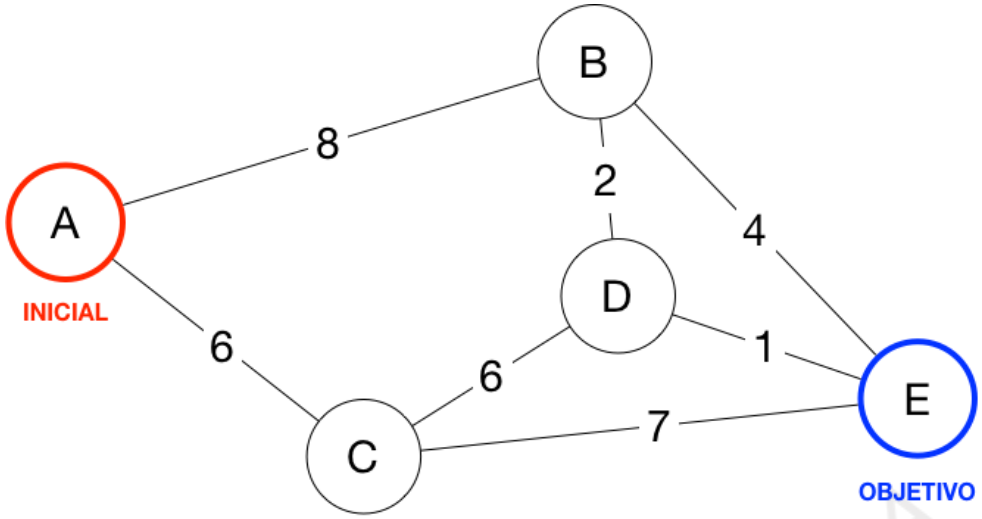
A*: [Hart, Nilsson, Raphael. 1968. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 4 (2): 100–107]

IDA*: [Korf. 1985. Depth-first Iterative-Deepening: An Optimal Admissible Tree Search. Artificial Intelligence. 27: 97–109]

```
abiertos = [inicial] # nodos pendientes de visitar
cerrados = []        # nodos ya visitados
while True :
    nodo = mejorCandidato(abiertos)  # mejor f(n)
    if nodo == objetivo:
        break # se expande el nodo objetivo, fin.
    abiertos.remove(nodo)
    foreach sucesor in expandir(nodo) : # vecinos del nodo
        if sucesor == nodo.parent :
            Pass # nodo padre ya visitado
        if cerrados.contains(sucesor)
           and mejorCaminoA(sucesor): # menor g(n)
            cerrados.remove(sucesor)
            abiertos.add(sucesor) # actualizar g(n)
        elif not cerrados.contains(sucesor) and
              not abiertos.contains(sucesor) :
            abiertos.add(sucesor) # nodo no visitado, añadir
        elif abiertos.contains(sucesor) and mejorCaminoA(sucesor):
              abiertos.update(sucesor) # actualizar g(n)
```

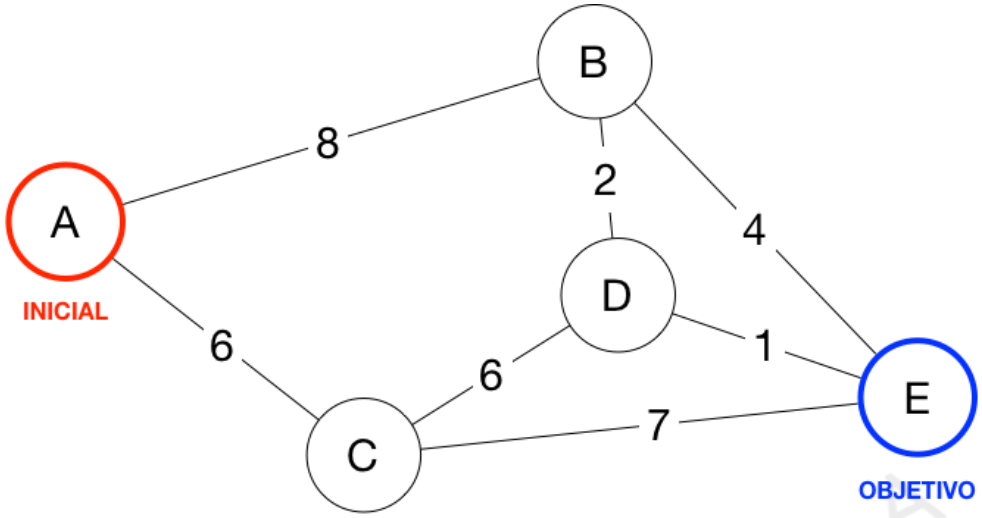
nodo es un nodo expandido!

Consumo de memoria:
max(|abiertos| + |cerrados|)



	A	B	C	D	E
h(n)	10	4	5	1	0

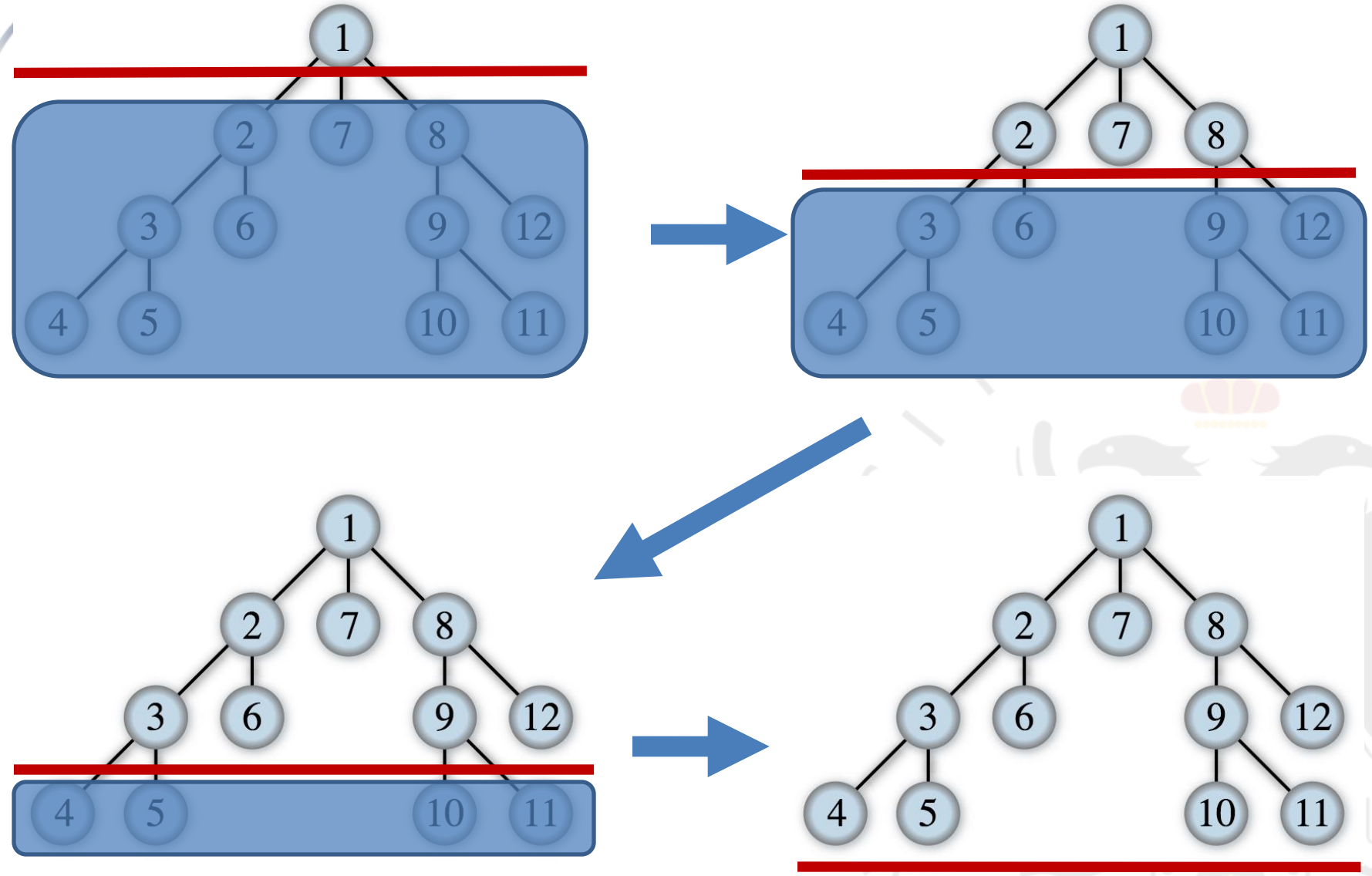
It.	Expandir	Sucesores	Abiertos	Cerrados
0			A(0+10)	-
1	A	B(8+4), C(6+5)	B(8+4), C(6+5)	A
2	C	D(12+1), E(13+0)	B(8+4), D(12+1), E(13+0)	A,C
3	B	D(10+1), E(12+0)	~~D(12+1), E(13+0)~~, D(10+1), E(12+0)	A,C,B
4	D	~~C(16+5)~~, E(11+0)	~~E(12+0)~~, E(11+0)	A,C,B,D
5	E	Fin		A,C,B,D,E



	A	B	C	D	E
h(n)	10	4	5	1	0

Nodo	Nodo padre	Coste del arco	Ruta	Coste de la ruta
E (Objetivo)	D	1	E - D	1
D	B	2	E – D - B	1+2 = 3
B	A	8	**E – D – B – A**	1+2+8 = **11**
A (Inicial)				

IDA*


1
2
7
8
3
6
9
12
4
5
10
11

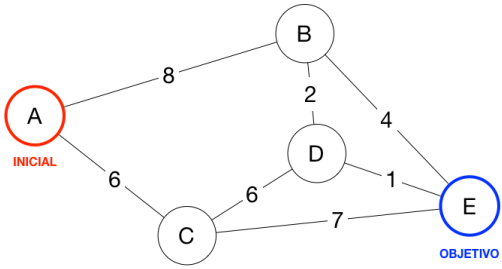
```
IDAStar(Nodo inicial, Nodo objetivo)
        cota = h(inicial)
        ruta = [inicial]
        while TRUE
                t = search(ruta, 0, cota, objetivo)
                if t == ENCONTRADO return (ruta, cota)
                if t == INFINITO   return NOENCONTRADO
                cota = t

search(ruta, g, cota, objetivo)
        nodo = ruta.last
        f = g + h(nodo)
        if f > cota        return f
        if nodo == objetivo return ENCONTRADO
        min = INFINITO
        foreach v in sucesores(nodo).sort()
                if v not in ruta
                        ruta.push(v)
                        t = search(ruta, g+c(nodo,v), cota, objetivo)
                        if t == ENCONTRADO return ENCONTRADO
                        if t < min        min = t
                        ruta.pop()
        return min
```

nodo es un nodo expandido!

Ordenados por c(nodo,v)

Consumo de memoria: profundidad de la rama

Iter.	Cota	Nodo expandido (f=g+h)	Sucesores (g+h) ordenados	Ramas a explorar	min
0	10	-	-	[A]	-
1	10	A (10=0+10)	C(6+5), B(8+4)	[A,C], [A,B]	INF
2	10	C (11=6+5)	Stop (f > cota)	[A,B]	11
3	10	B (12=8+4)	Stop (f > cota)	-	11
4	11	-	-	[A]	-
5	11	A (10=0+10)	C(6+5), B(8+4)	[A,C], [A,B]	INF
6	11	C (11=6+5)	D(12+1), E(13+0)	[A,C,D], [A,C,E], [A,B]	INF
7	11	D (13=12+1)	Stop (f > cota)	[A,C,E], [A,B]	13
8	11	E (13=13+0)	Stop (f > cota)	[A,B]	13
9	11	B (12=8+4)	Stop (f > cota)	-	12
10	12	-	-	[A]	-
11	12	A (10=0+10)	C(6+5), B(8+4)	[A,C], [A,B]	INF
12	12	C (11=6+5)	D(12+1), E(13+0)	[A,C,D], [A,C,E], [A,B]	INF
13	12	D (13=12+1)	Stop (f > cota)	[A,C,E], [A,B]	13
14	12	E (13=13+0)	Stop (f > cota)	[A,B]	13
15	12	B (12=8+4)	D(10+1), E(12+0)	[A,B,D], [A,B,E]	13
16	12	D(11=10+1)	E(11+0)	[A,B,D,E], [A,B,E]	13
17	12	E(11=11+0)	FIN. Camino: E – D – B – A		ENC



	A	B	C	D	E
h(n)	10	4	5	1	0

Llamadas al método search con prof. iterativa (cota)

Para más información:

Introduction to the A* algorithm:

https://www.redblobgames.com/pathfinding/a-star/introduction.html

Aplicación visual para evaluar distintos algoritmos en grids:

https://qiao.github.io/PathFinding.js/visual/