Ayudantía 5

Heurísticas y A*

Por Daniel Toribio y Felipe Espinoza

22 de abril 2024

Algoritmos vistos hasta ahora

Búsqueda Genérica | **BFS** | **DFS** | **Best First Search**

Otros algoritmos:

Dijkstra | **Bellman-Ford** | **Beam Search**

¿Que tienen en común?

Algoritmos vistos hasta ahora

- Encuentran caminos más cortos en un grafo ponderado, es decir, **encuentran soluciones óptimas**
- ¿Qué sucede cuando el grafo de búsqueda es **MUY** grande?

Alto consumo de memoria

Exploración innecesaria

Gran tiempo de ejecución

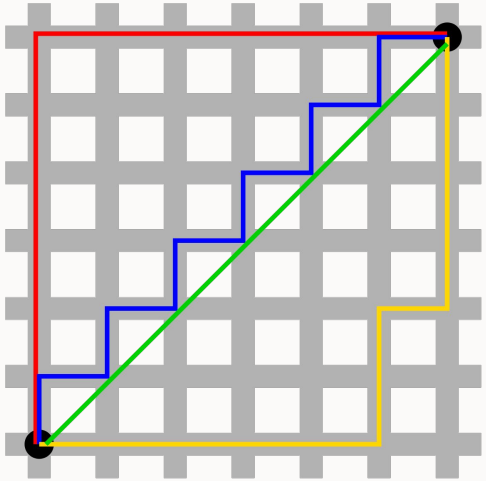
- Queremos que nuestra búsqueda obtenga el camino al nodo objetivo, **evitando revisar nodos innecesarios**. ¿Cómo lo logramos?

Función Heurística

- Función que estima la cercanía de un nodo ***s*** a un nodo objetivo ***G***.
- Para crearla necesitamos saber donde se ubica el nodo objetivo o como conseguirlo.
- Con ella podemos discriminar qué nodo **conviene** explorar, priorizando nodos que podrían llevar a la solución de forma más rápida.

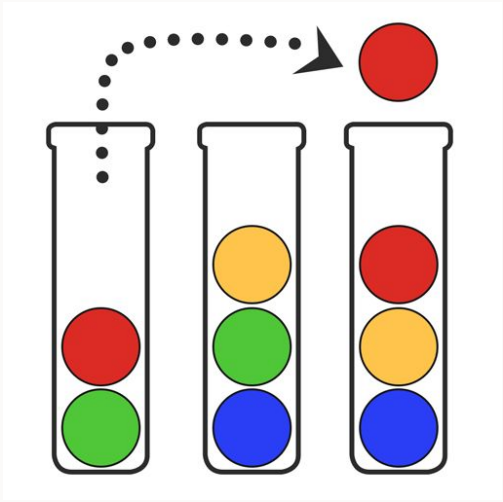
$$h(s)$$

Ejemplos de Heurísticas



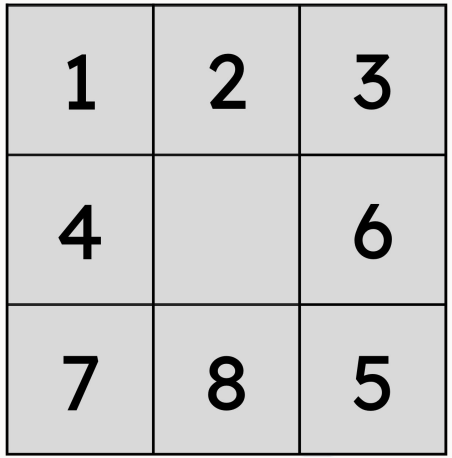
Distancia Manhattan

Distancia Euclidiana

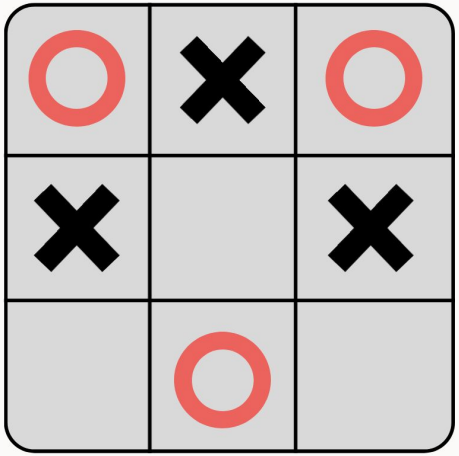


Cantidad de bolitas en un frasco que no tienen un mismo color

Ejemplos de Heurísticas



Cantidad de piezas en la posición correcta



Cantidad de figuras del jugador que están alineadas

Admisibilidad

Definición

Una heurística ***h*** se dice ***admisible*** si para todo estado ***s*** se cumple que:

$$h(s) \leq h^*(s)$$

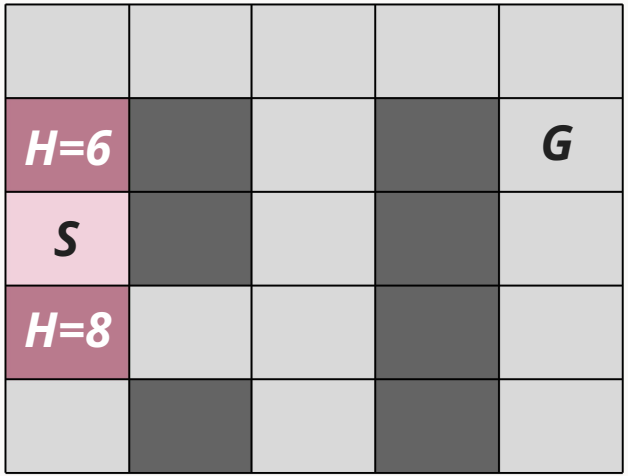
Donde *h**(*s*) es el costo de un camino óptimo desde el estado ***s*** a un estado objetivo

Nuestra función es admisible si nunca sobreestima respecto a un camino óptimo

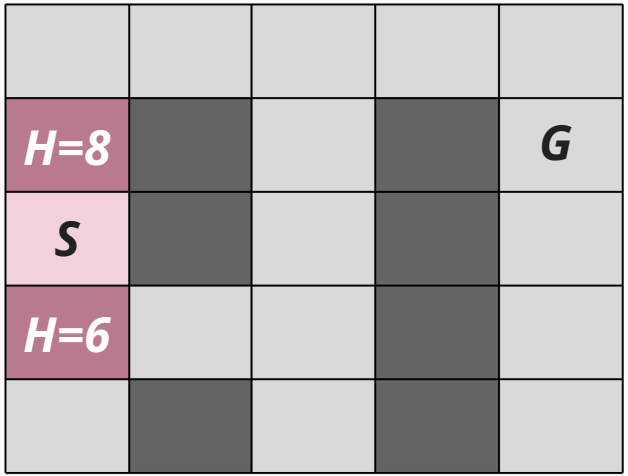
Admisibilidad

Definamos el costo de moverse entre casillas igual a 1. ¿Cuál heurística es admisible?

H1



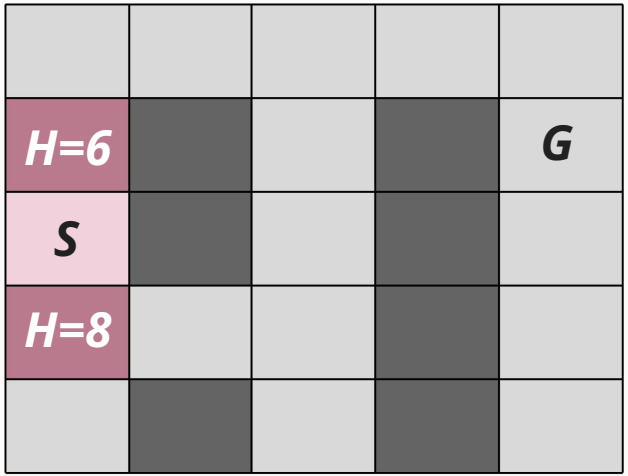
H2



Admisibilidad

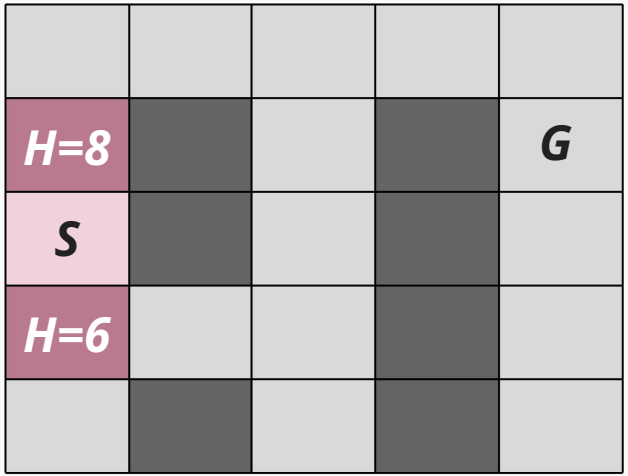
Definamos el costo de moverse entre casillas igual a 1. ¿Cuál heurística es admisible?

H1 es admisible



H2 no es admisible

H2 = 8 > 6 = h*



Consistencia

Definición

Una heurística ***h*** se dice ***consistente*** si y sólo si:

- $h(s) = 0$, para todo $s \in G$
- $h(s) \leq c(s, s') + h(s')$ para todo vecino s' de s

O de manera equivalente $h(s) - h(s') \leq c(s, s')$

Nuestra función es consistente si nunca sobreestima en los estados objetivos ni el **costo es mayor que la variación de la heurística** entre dos estados vecinos

Consistencia

Definamos el costo de moverse entre casillas igual a 1. ¿Cuál heurística es admisible?

H1

H=10	H=8	H=6	H=4	H=2
H=12		H=8		H=0
S		H=10		H=2
H=16	H=14	H=12		H=4
H=18		H=14		H=6

G

H2

H=5	H=4	H=3	H=2	H=1
H=6		H=4		H=0
S		H=5		H=1
H=8	H=7	H=6		H=2
H=9		H=7		H=3

G

Consistencia

Definamos el costo de moverse entre casillas igual a 1. ¿Cuál heurística es admisible?

H1 no es consistente

H=10	H=8	H=6	H=4	H=2
H=12		H=8		H=0
S		H=10		H=2
H=16	H=14	H=12		H=4
H=18		H=14		H=6

G

H2 si lo es

H=5	H=4	H=3	H=2	H=1
H=6		H=4		H=0
S		H=5		H=1
H=8	H=7	H=6		H=2
H=9		H=7		H=3

G

Relación consistencia y admisibilidad

Definición

Si una heurística ***h*** es consistente, entonces ***h*** es admisible

¡Esta relación no es invertible! Es decir, si una heurística es admisible, no necesariamente va a ser consistente.

A*

A* es un algoritmo utilizado en problemas de búsqueda, su característica distintiva es que utiliza heurística, utilizando la siguiente función de evaluación f(n) = g(n) + h(n)

- La rapidez y complejidad computacional está estrechamente relacionada a la heurística seleccionada.
- Siempre entrega soluciones óptimas si se usa con una **heurística admisible.**
- Dijkstra es A* con heurística cero.

Dijkstra

$$f(n) = g(n)$$

A*

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

A*

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

$g(n)$: Costo de un camino desde s_0 hasta un nodo *n*.

$g(n)$ **NO ES FUNCIÓN!**

Algoritmo de A*

Algoritmo A*

Input: Un problema de búsqueda $(\mathbf{S}, A, s_0, G)$

Output: Un nodo objetivo

1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
8. *Insertar v*

La extracción es del u con menor valor f(s) = g(s) + h(s)

Revisa si llego al nodo objetivo cuando se expande

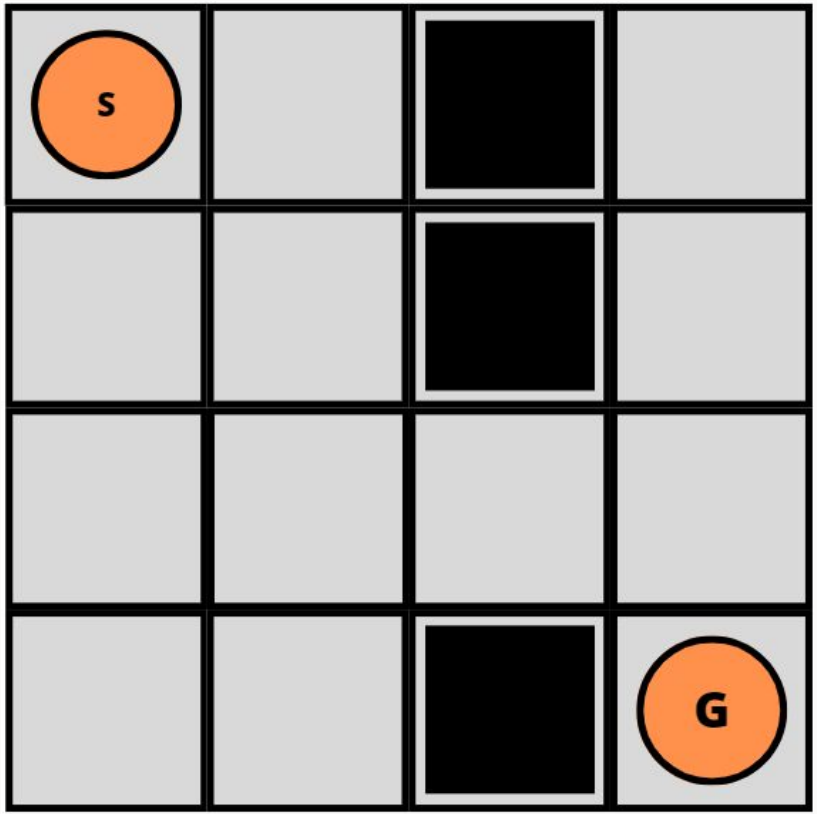
Procedimiento de insertar v

Procedimiento insertar v

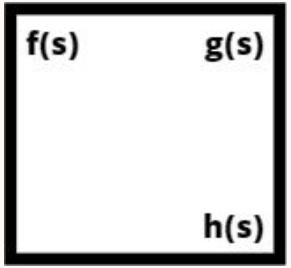
Insertar v en Open

1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$ // el costo de llegar a v por u
2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return** // seguimos solo si $cost_v < g(v)$
3. $parent(v) \leftarrow u$
4. $g(v) \leftarrow cost_v$
5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$ // depende de la impl.
7. **else** Insertar v en $Open$

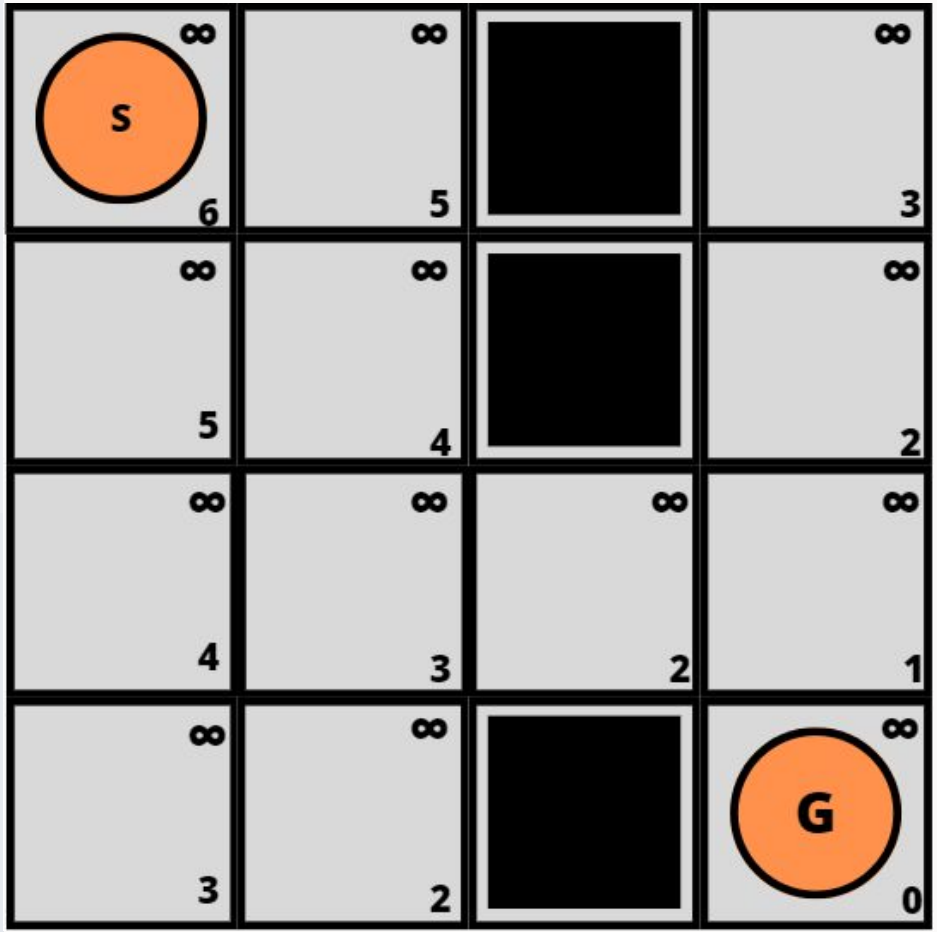
EJEMPLO



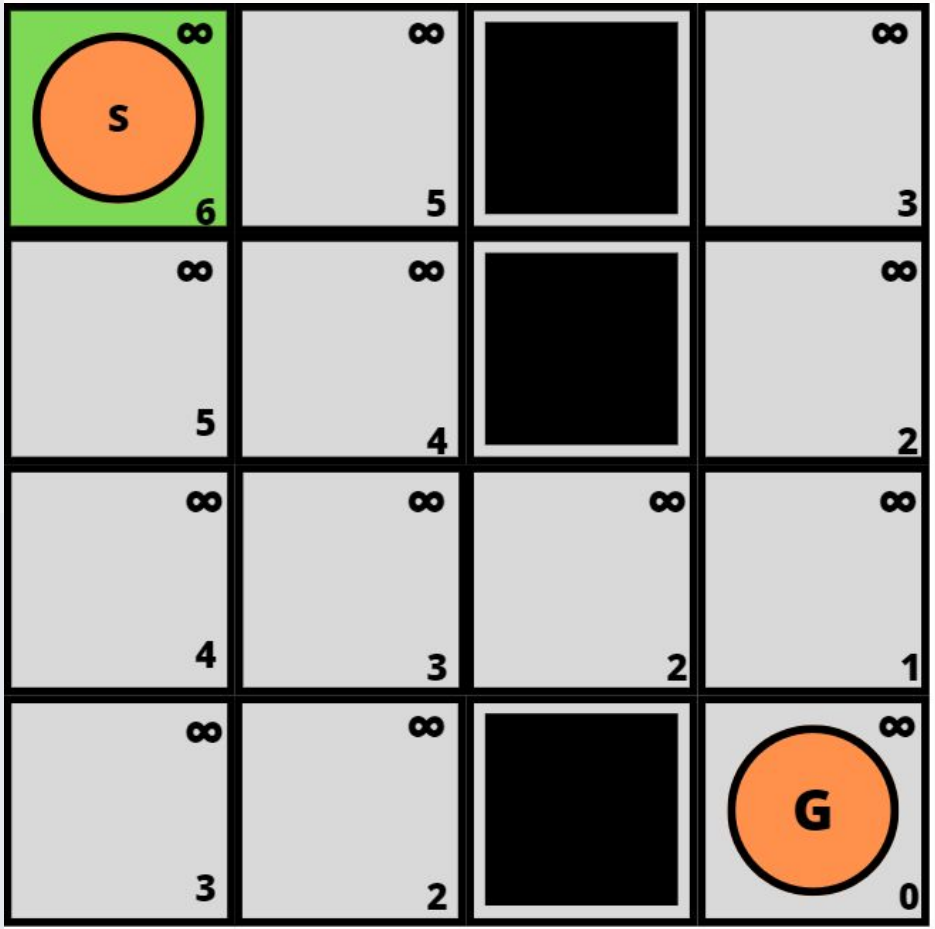
f(s) = g(s) + h(s)
g(s): largo del camino
h(s): distancia de manhattan



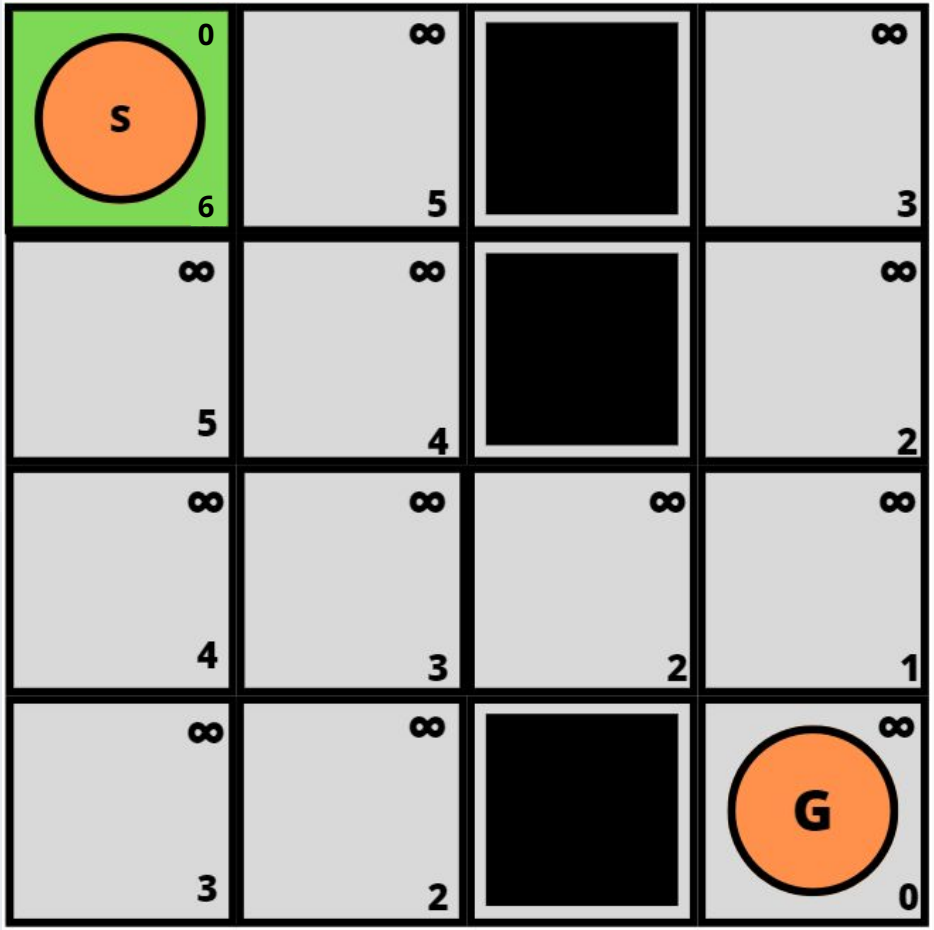
1. **for each** $s \in S$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



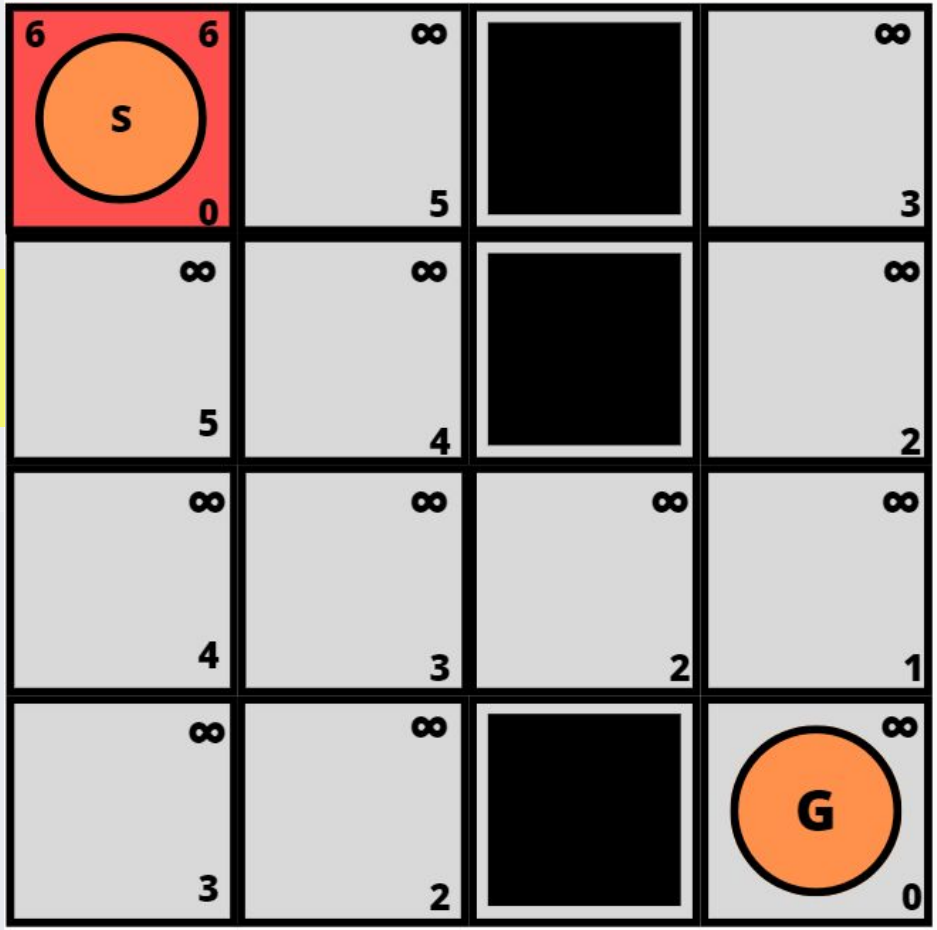
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



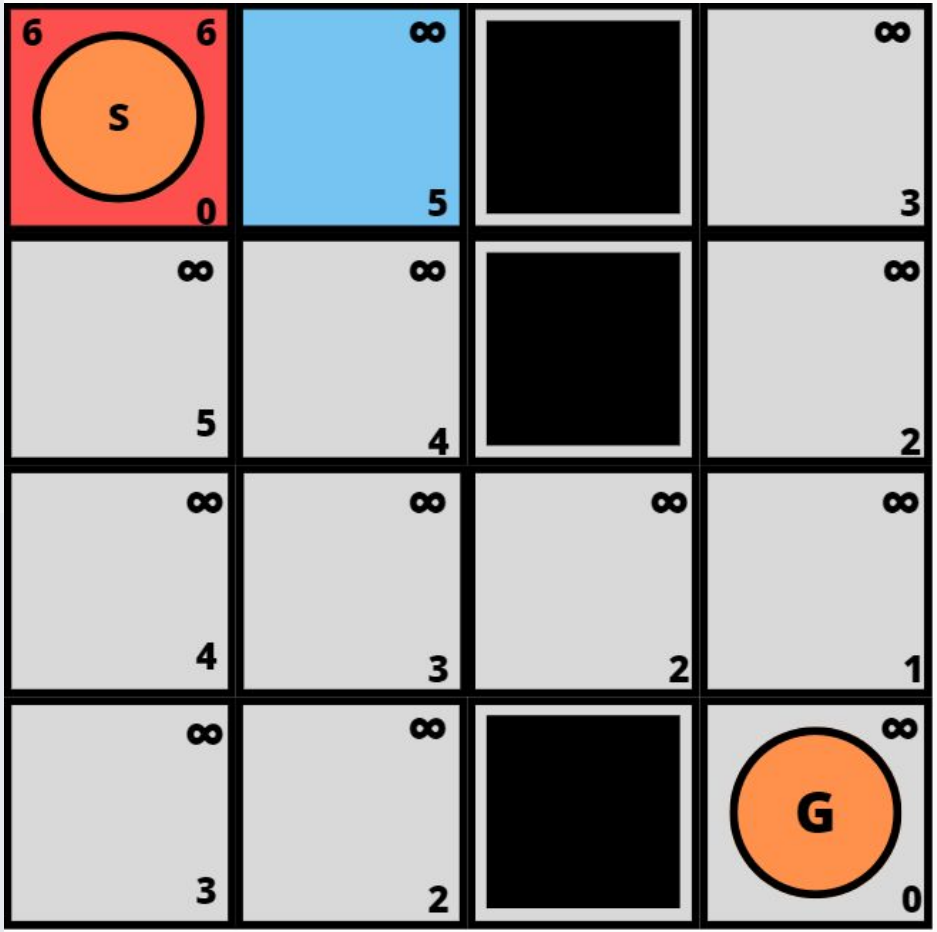
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



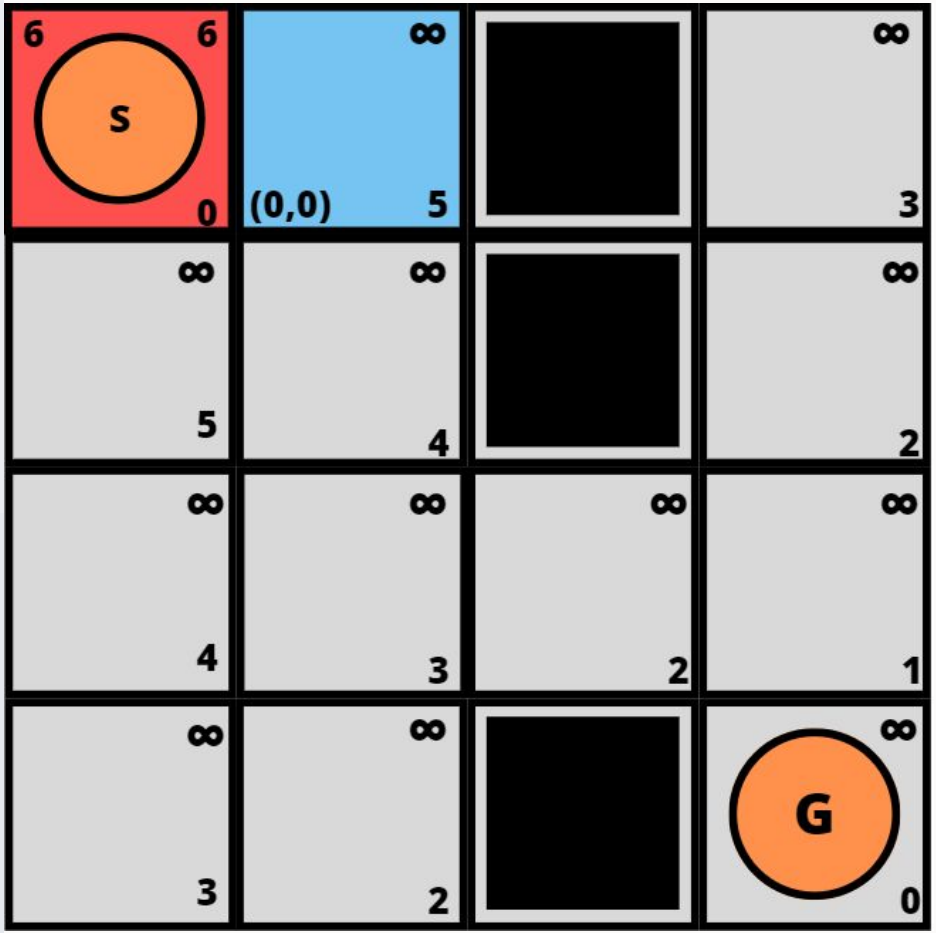
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



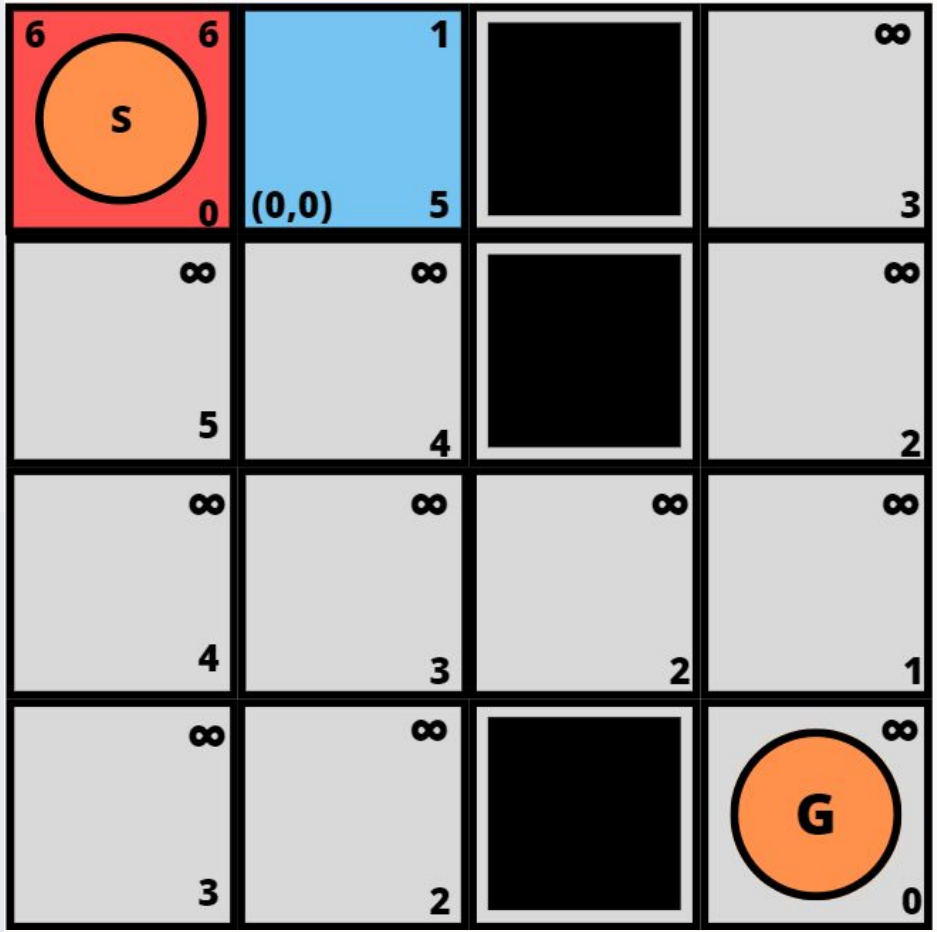
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
   1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
   2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
   3. $parent(v) \leftarrow u$
   4. $g(v) \leftarrow cost_v$
   5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
   6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
   7. **else** Insertar v en $Open$



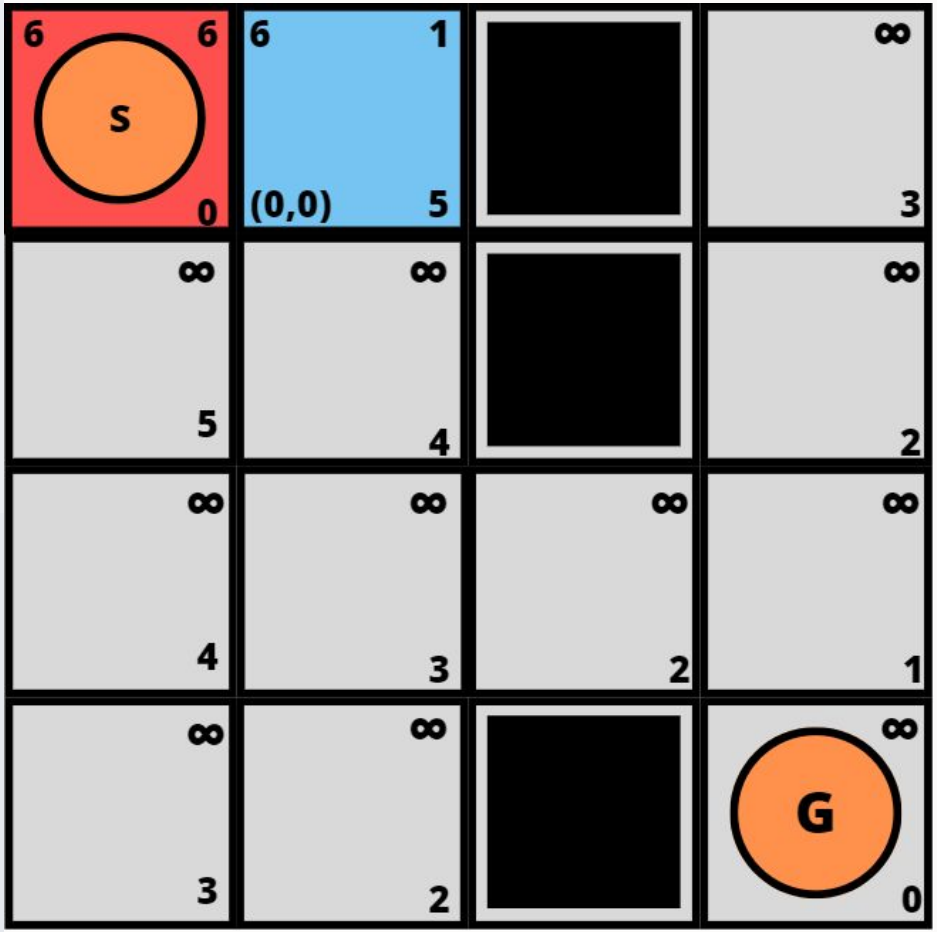
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



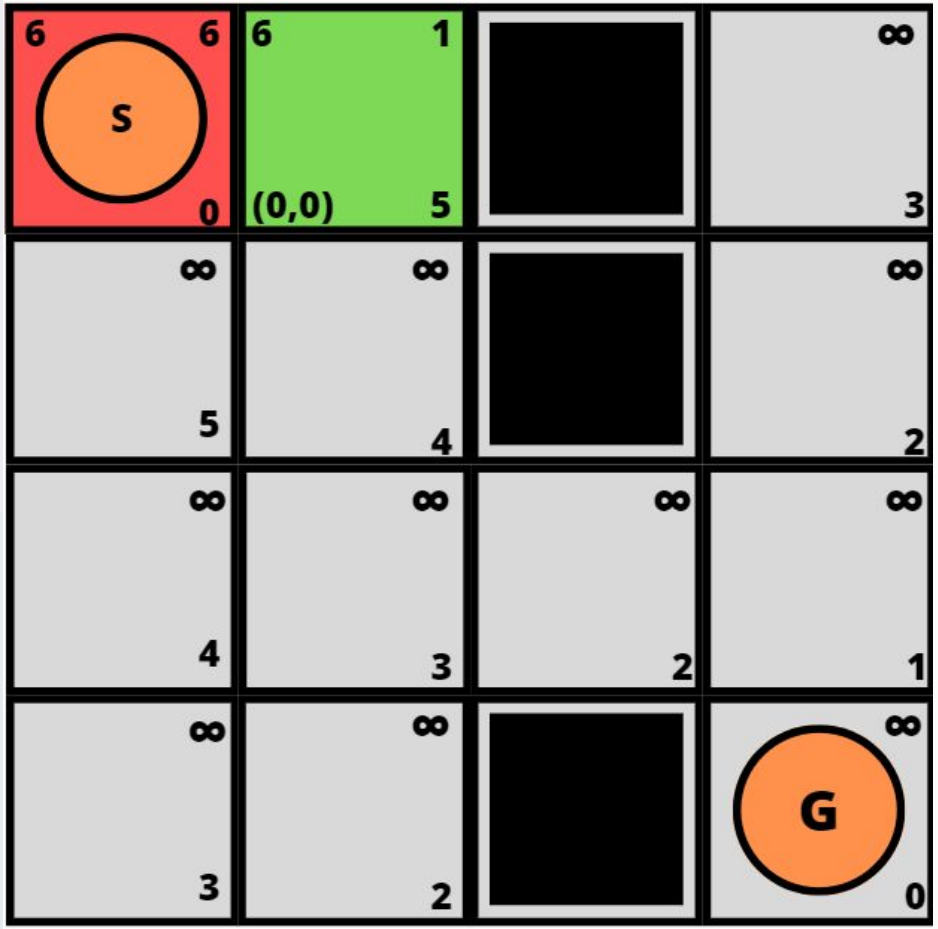
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



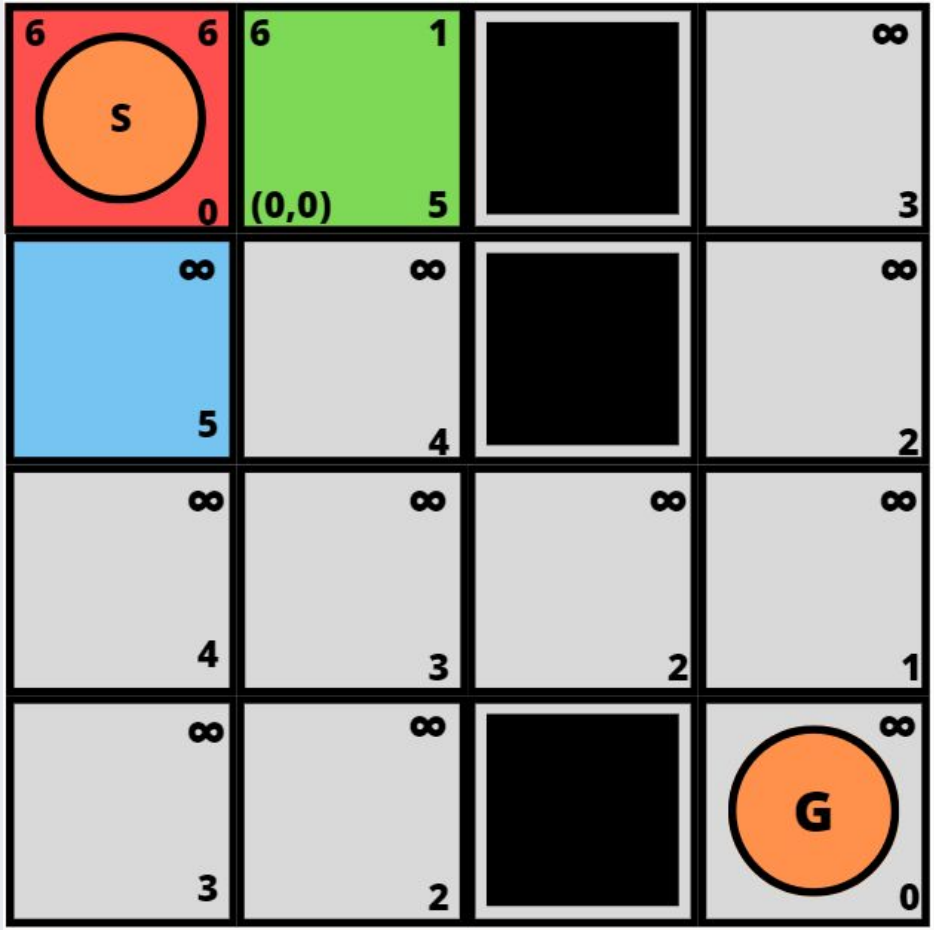
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



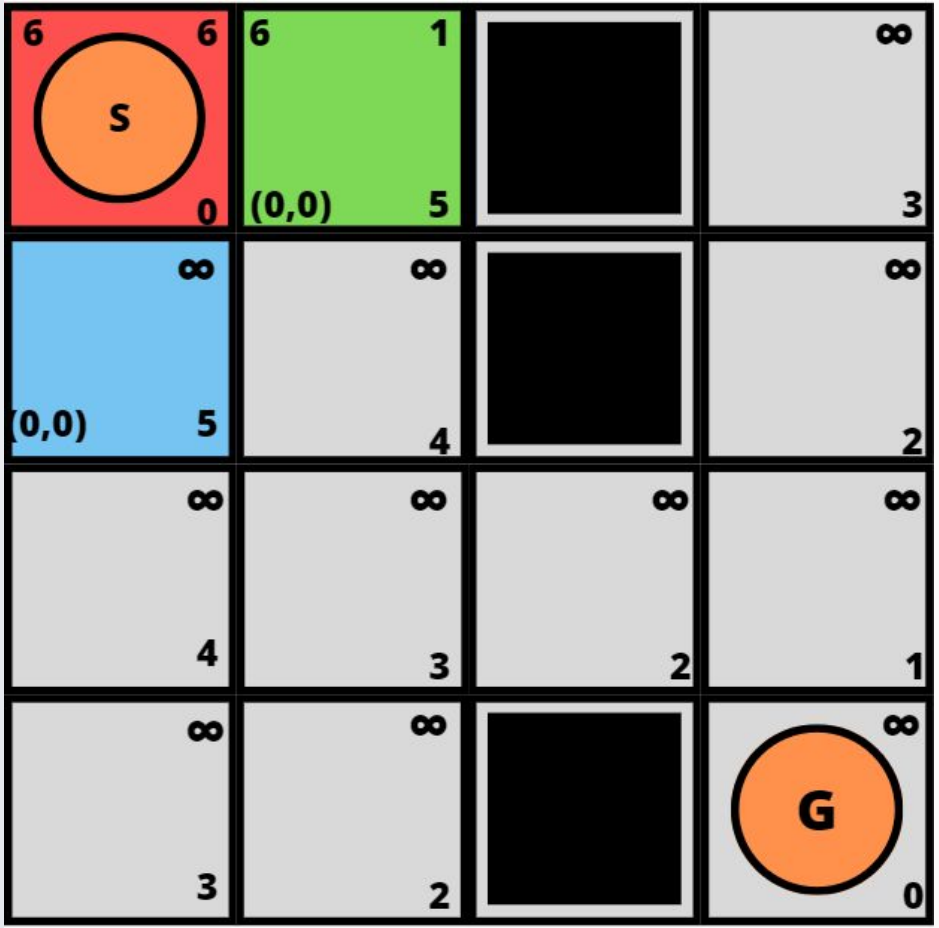
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



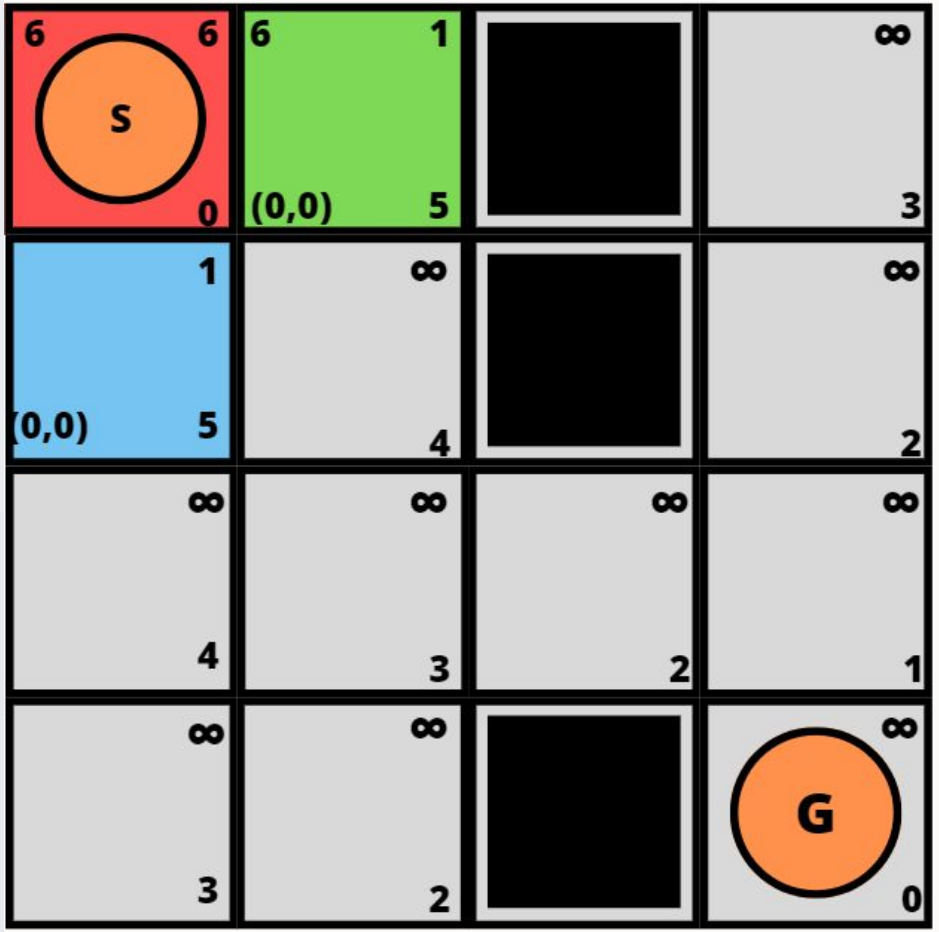
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



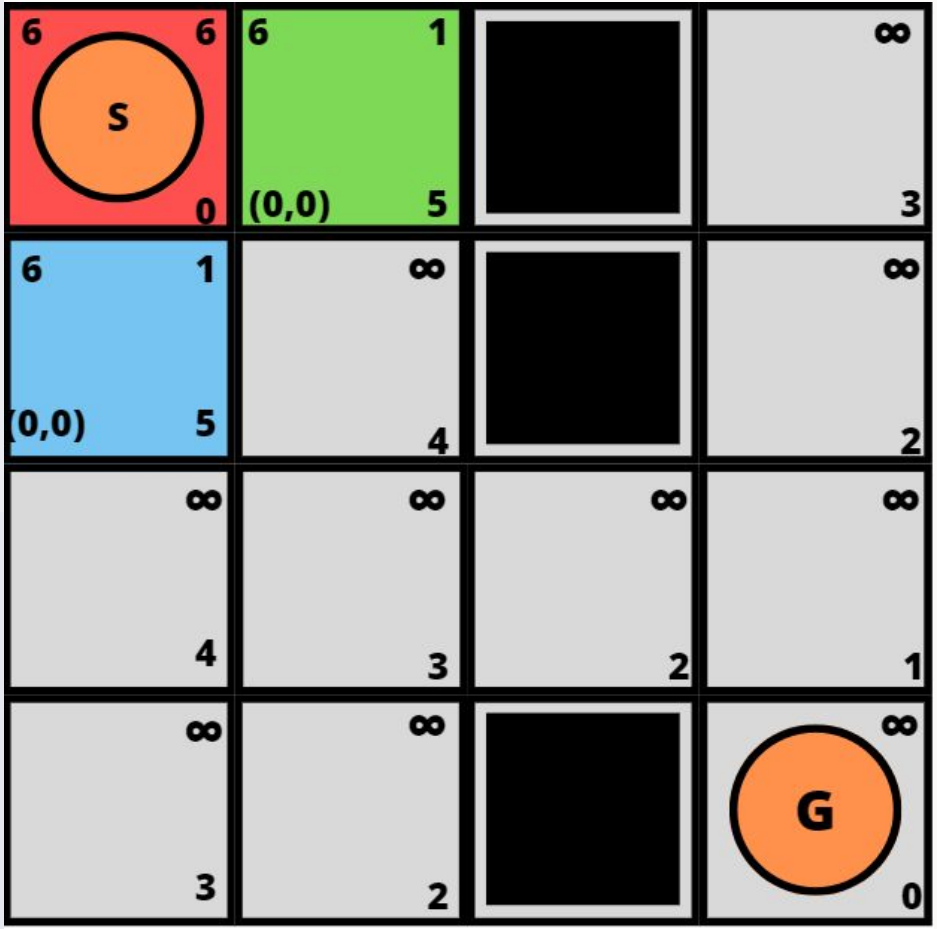
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



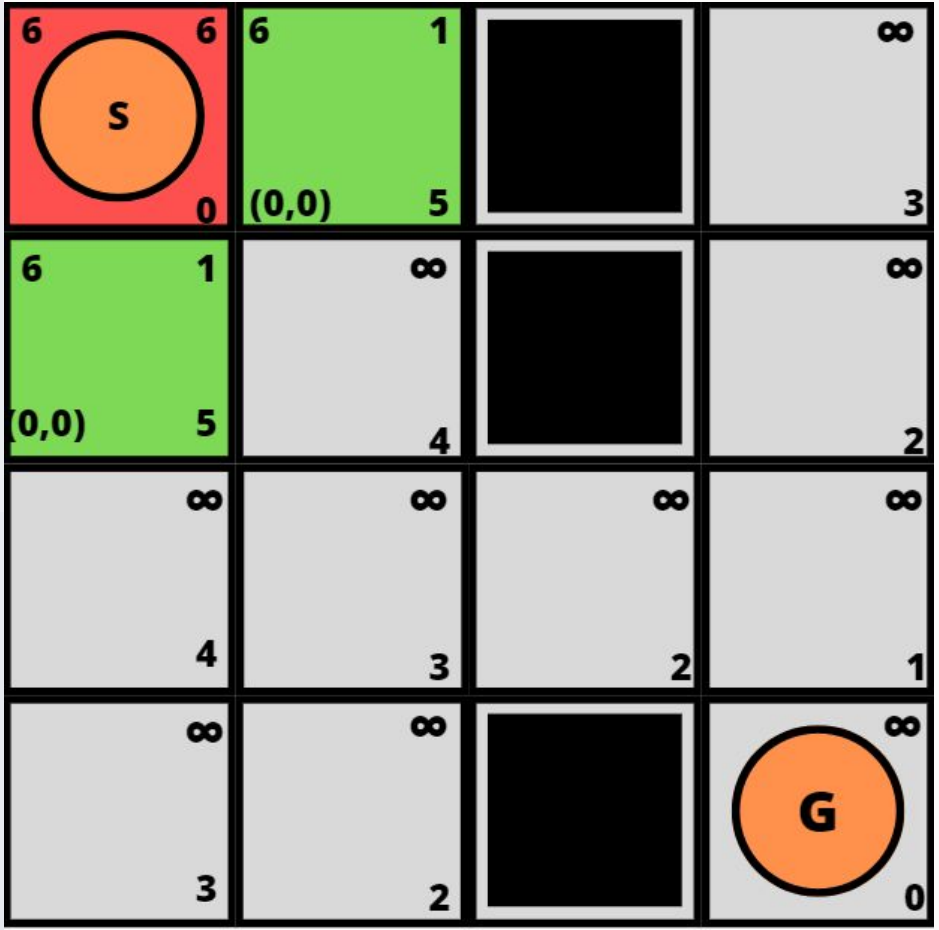
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



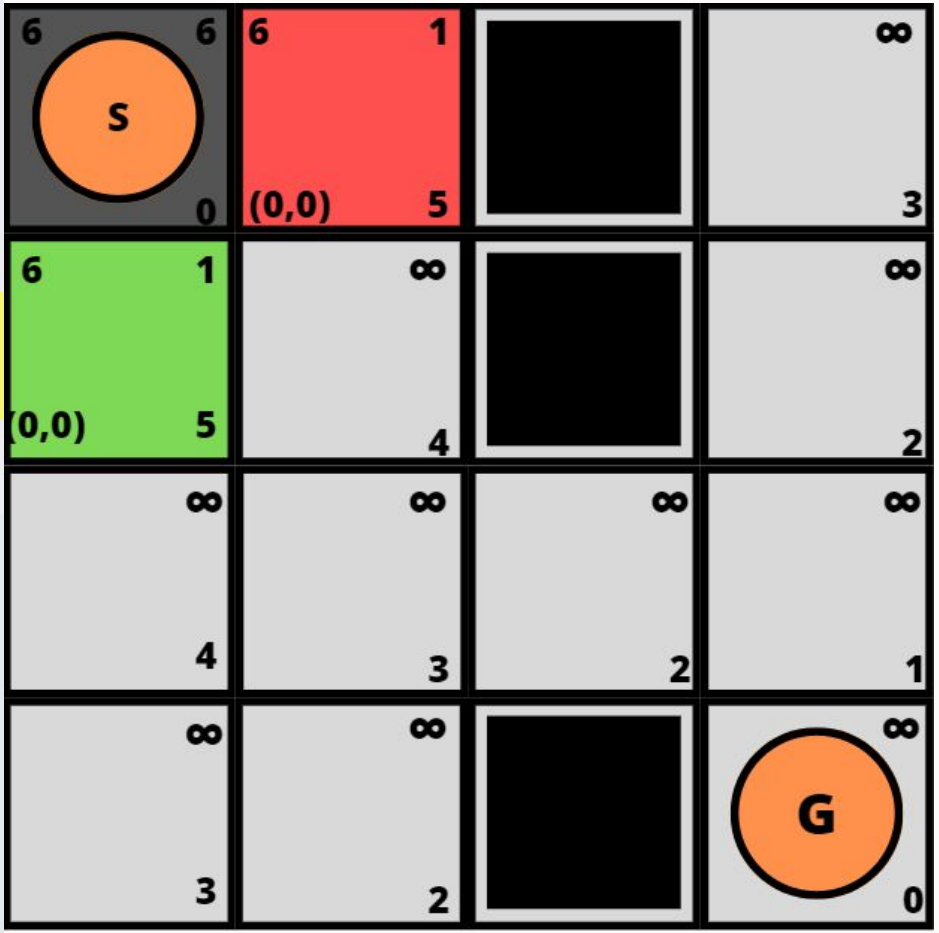
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



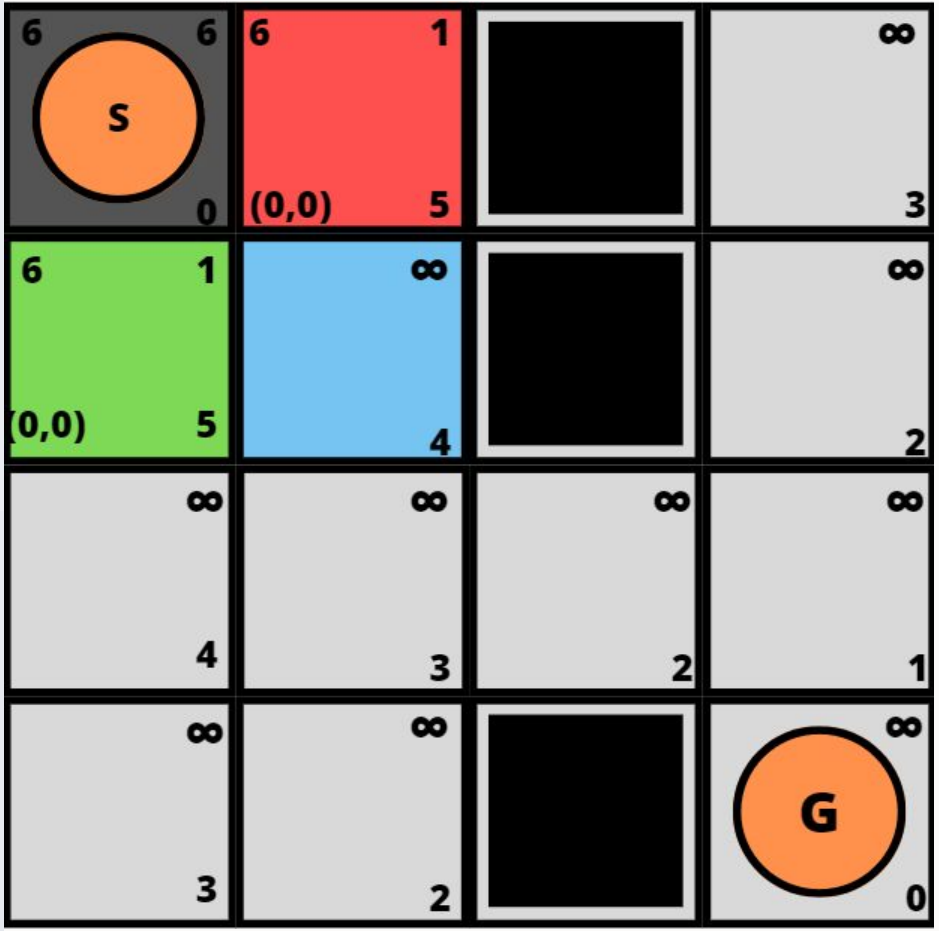
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



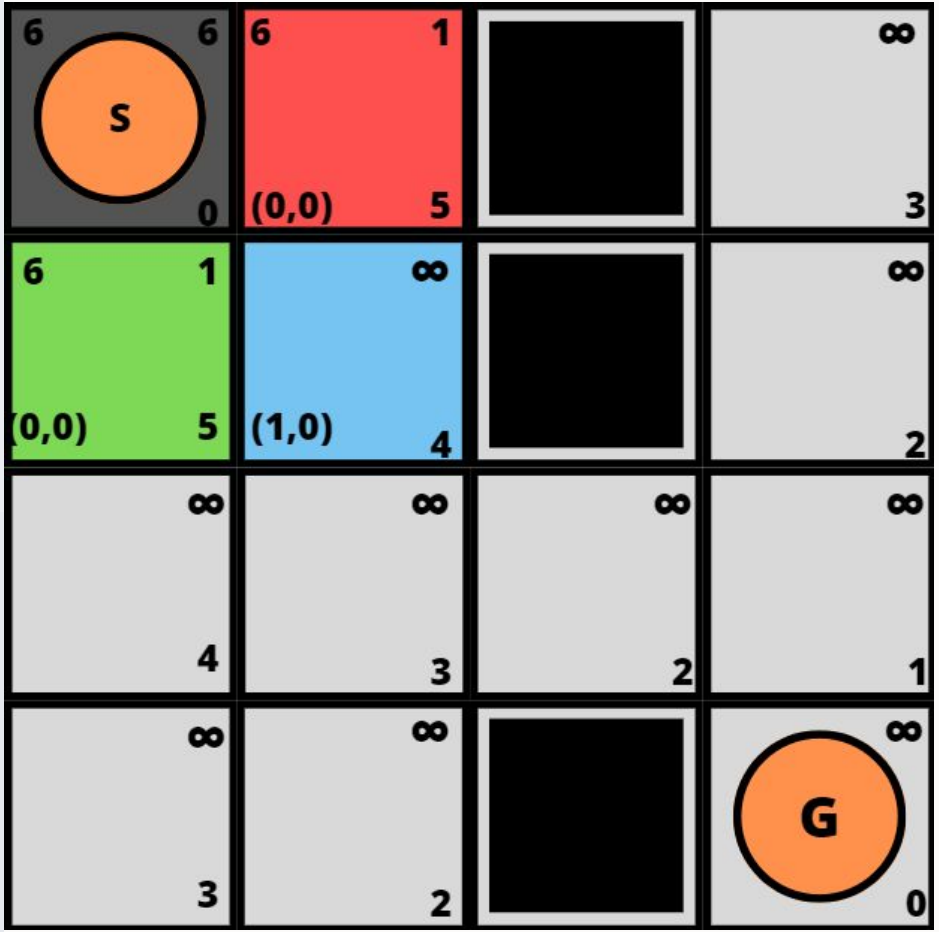
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



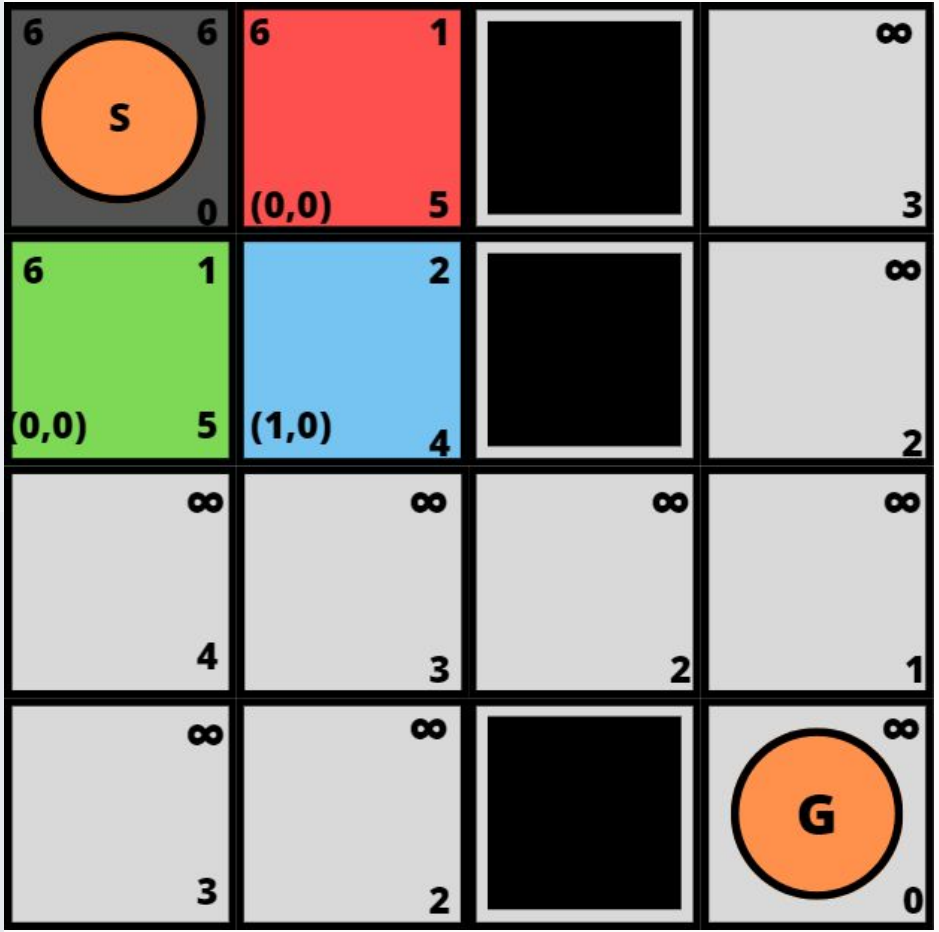
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
   1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
   2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
   3. $parent(v) \leftarrow u$
   4. $g(v) \leftarrow cost_v$
   5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
   6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
   7. **else** Insertar v en $Open$



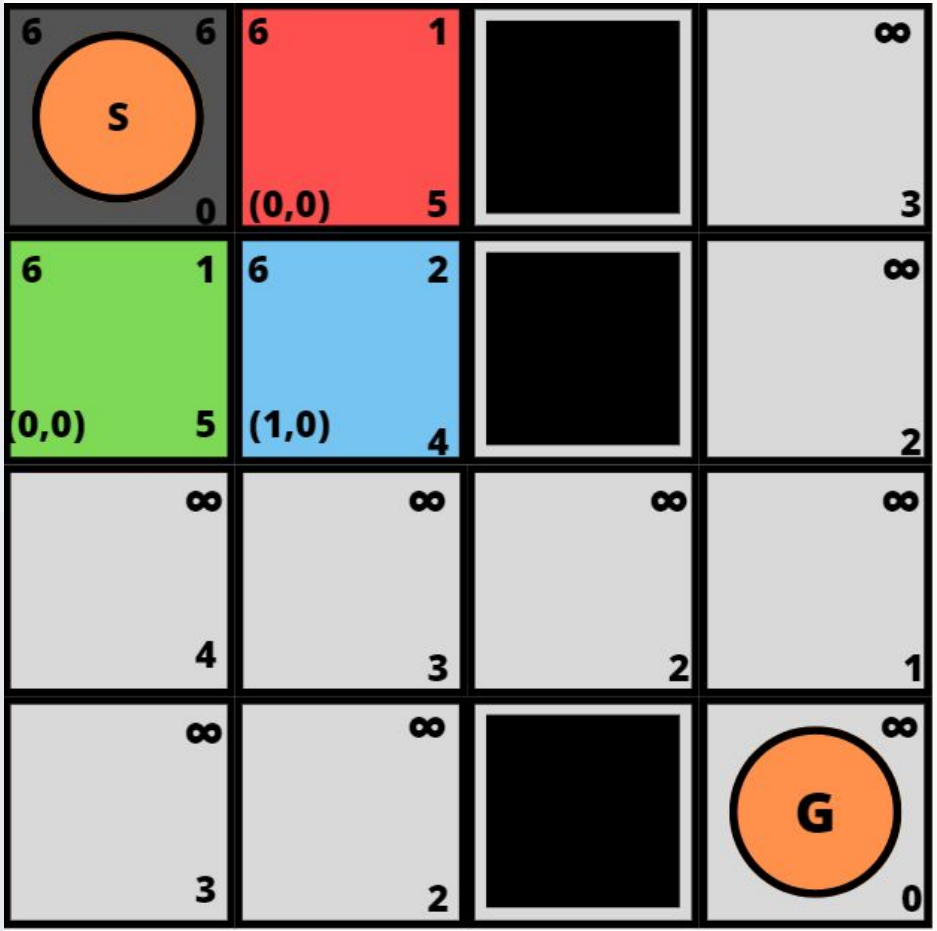
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



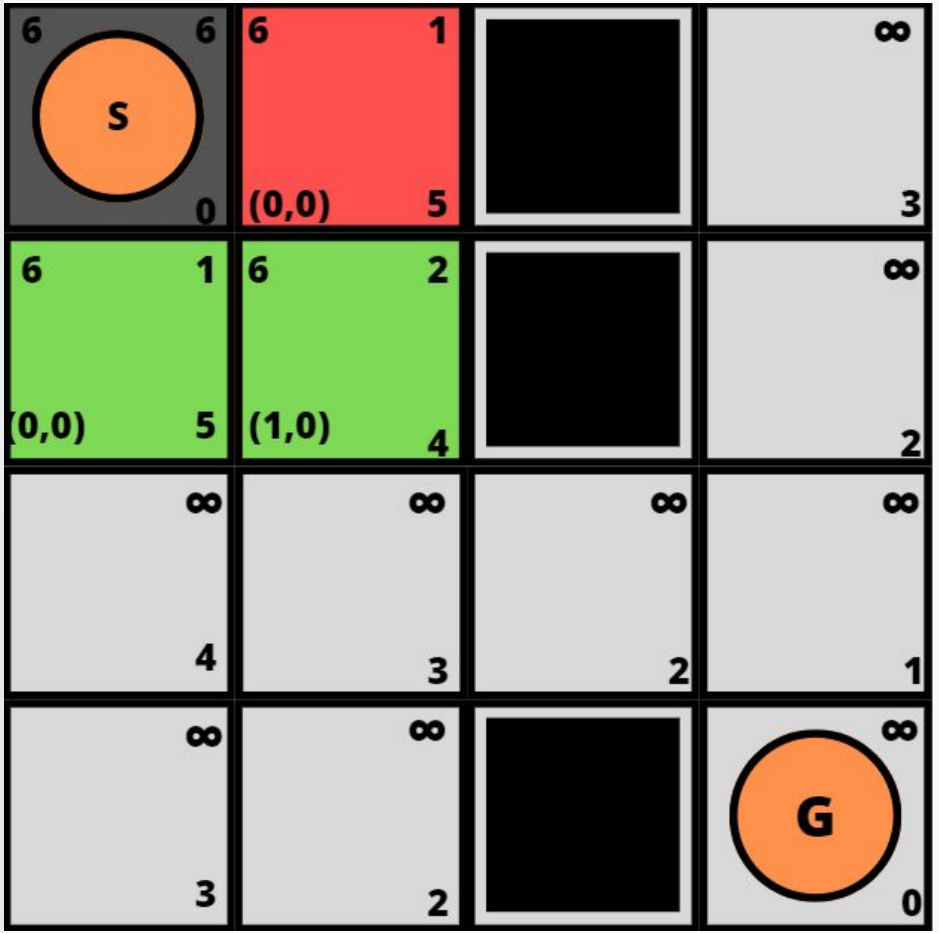
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



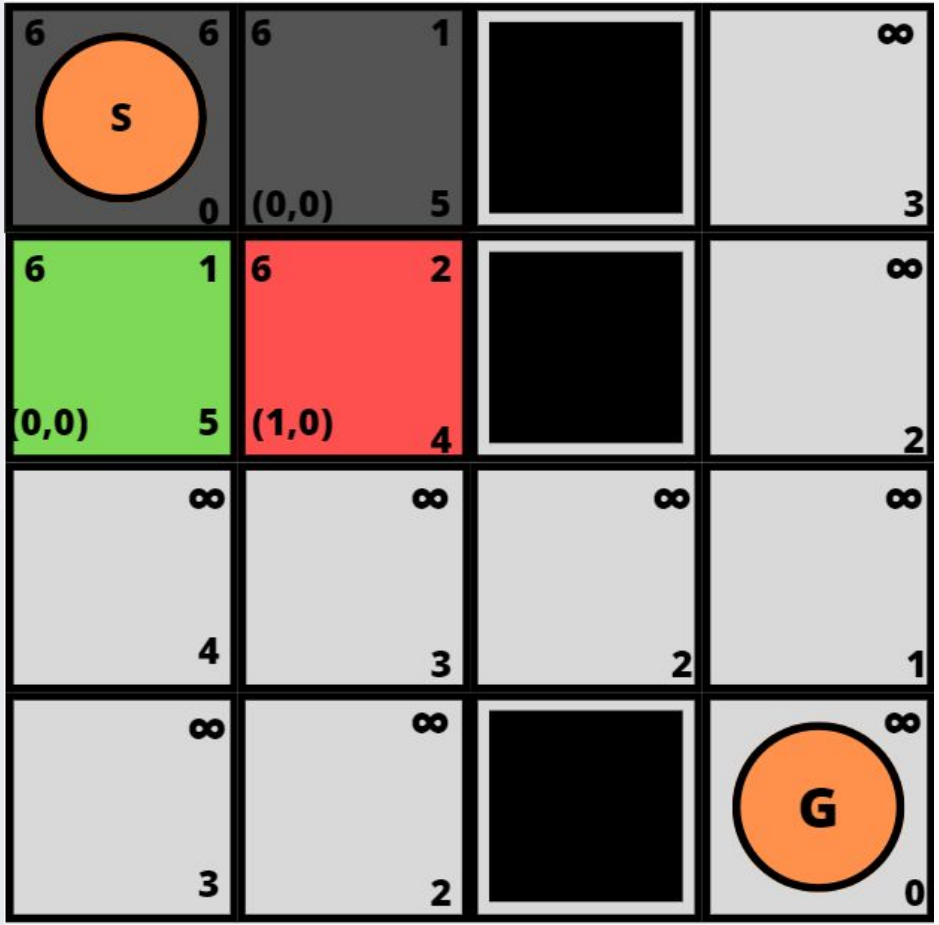
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



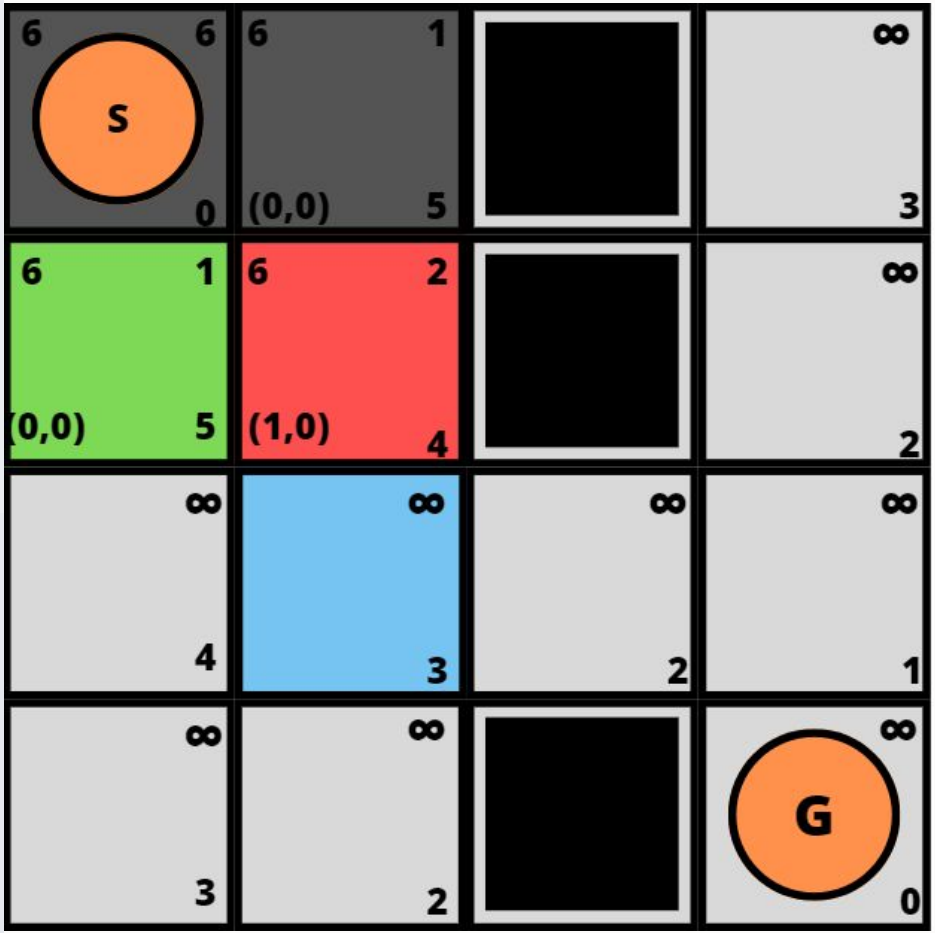
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



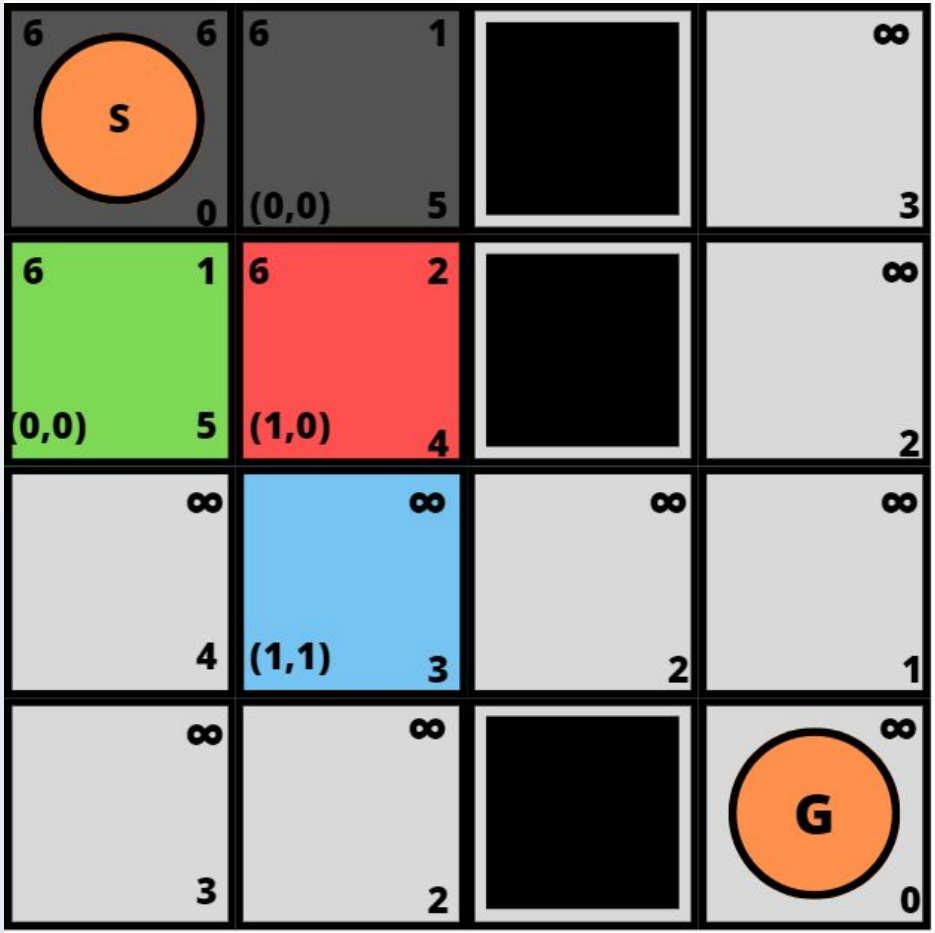
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
   1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
   2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
   3. $parent(v) \leftarrow u$
   4. $g(v) \leftarrow cost_v$
   5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
   6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
   7. **else** Insertar v en $Open$



1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



1 **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$

2 $Open \leftarrow \{s_0\}$

3 $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$

4 **while** $Open \neq \emptyset$

5 Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f

6 **if** u es objetivo **return** u

7 **for each** $v \in Succ(u)$ **do**

1 $cost_v = g(u) + c(u, v)$

2 **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**

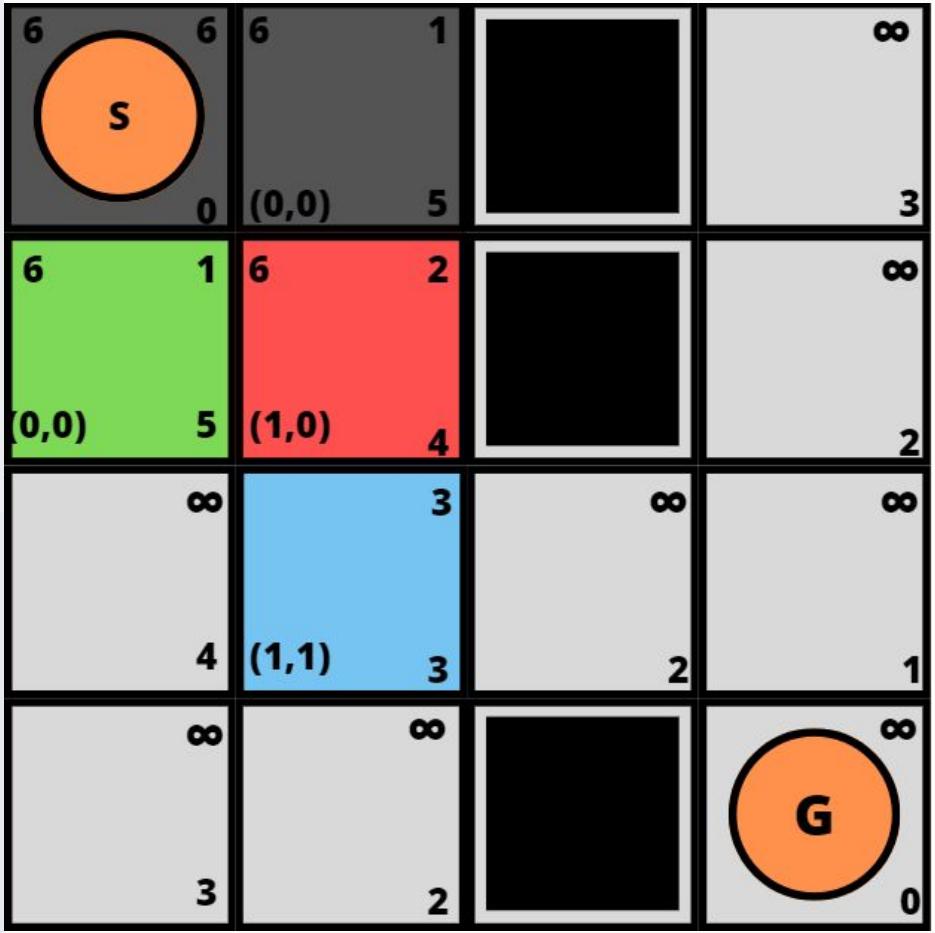
3 $parent(v) \leftarrow u$

4 $g(v) \leftarrow cost_v$

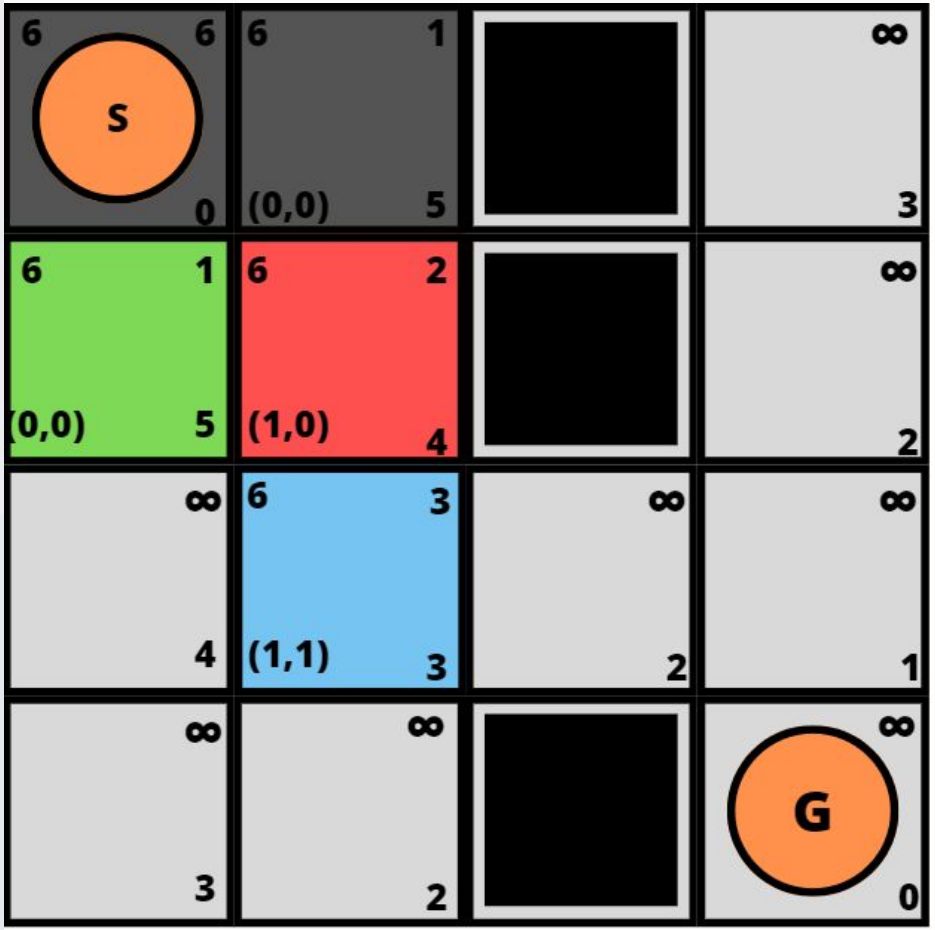
5 $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$

6 **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$

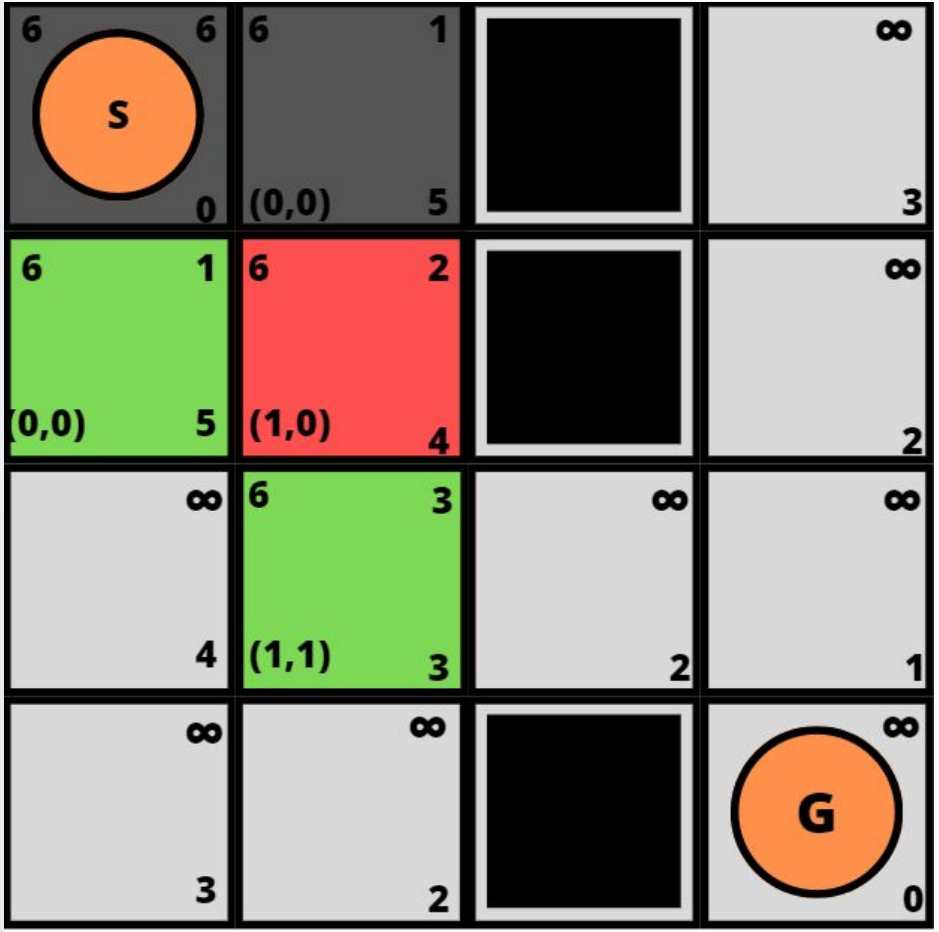
7 **else** Insertar v en $Open$



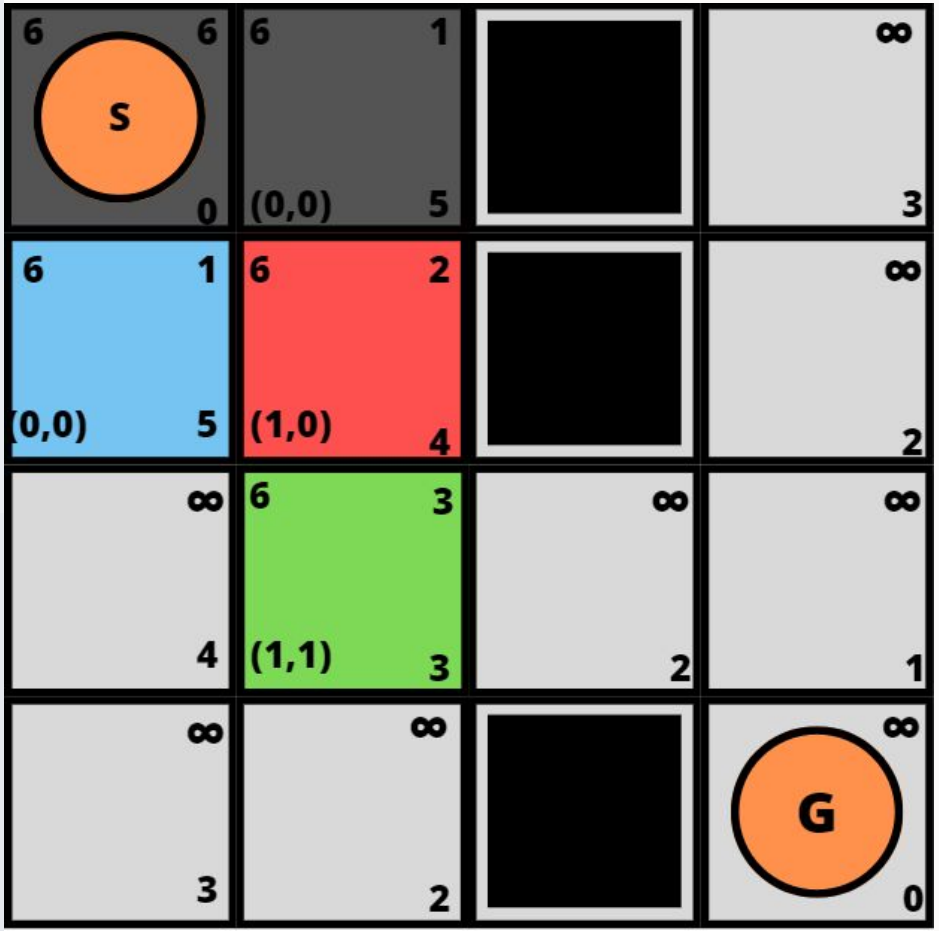
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



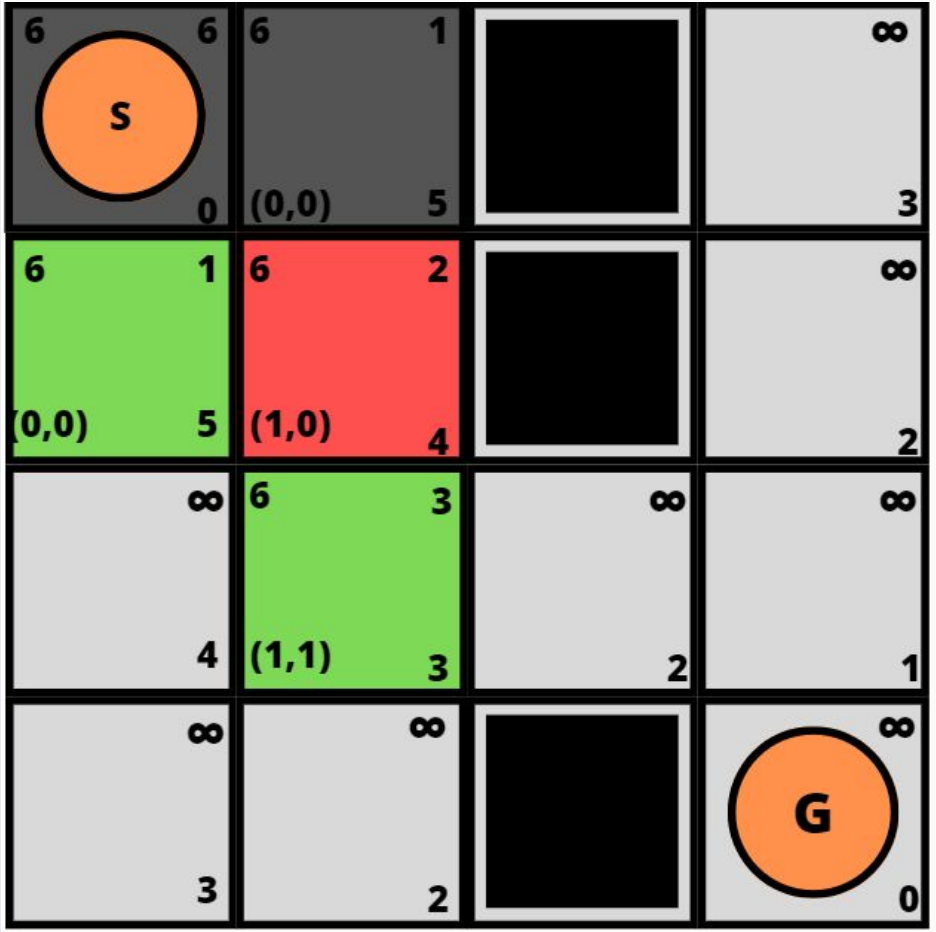
1 **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2 $Open \leftarrow \{s_0\}$
3 $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4 **while** $Open \neq \emptyset$
5 Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6 **if** u es objetivo **return** u
7 **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
1 $cost_v = g(u) + c(u, v)$
2 **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
3 $parent(v) \leftarrow u$
4 $g(v) \leftarrow cost_v$
5 $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
6 **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
7 **else** Insertar v en $Open$



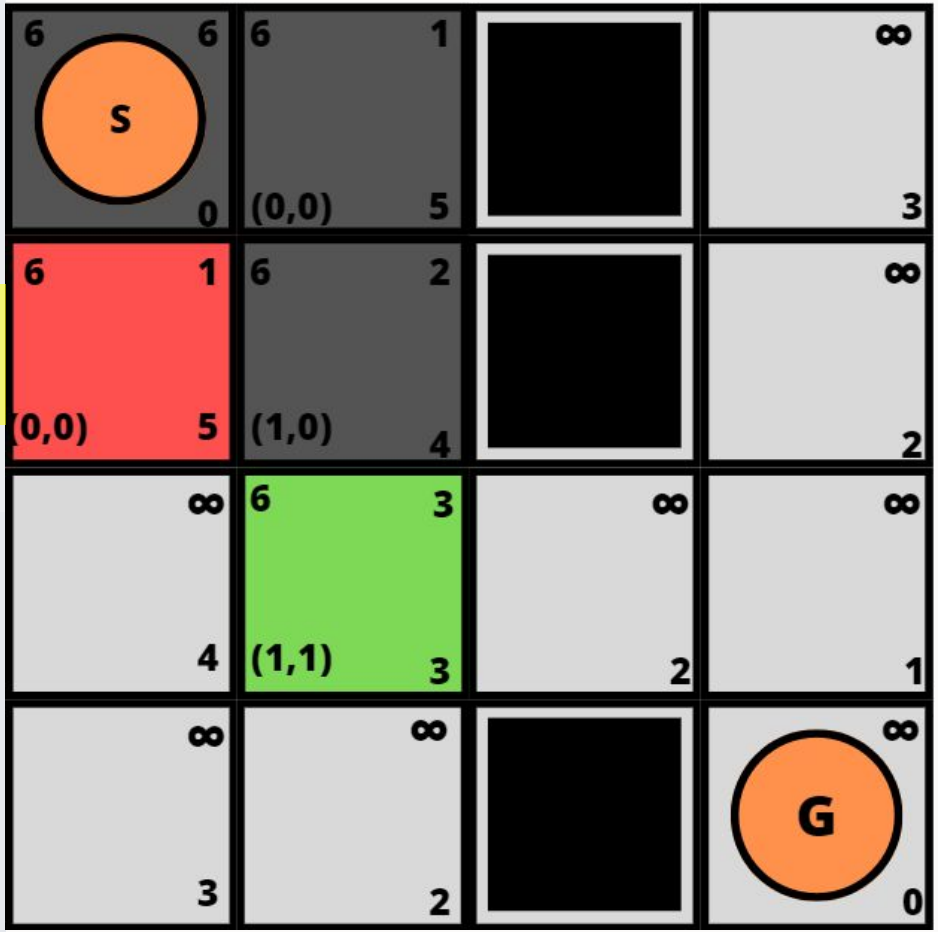
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



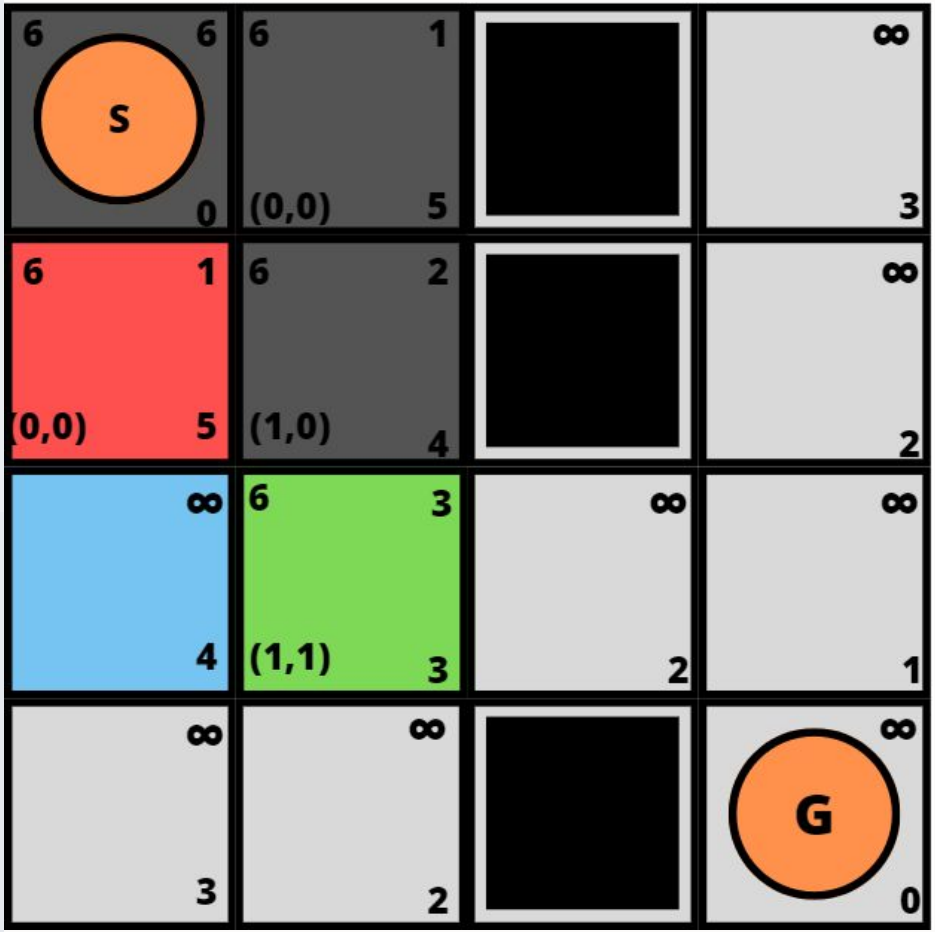
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



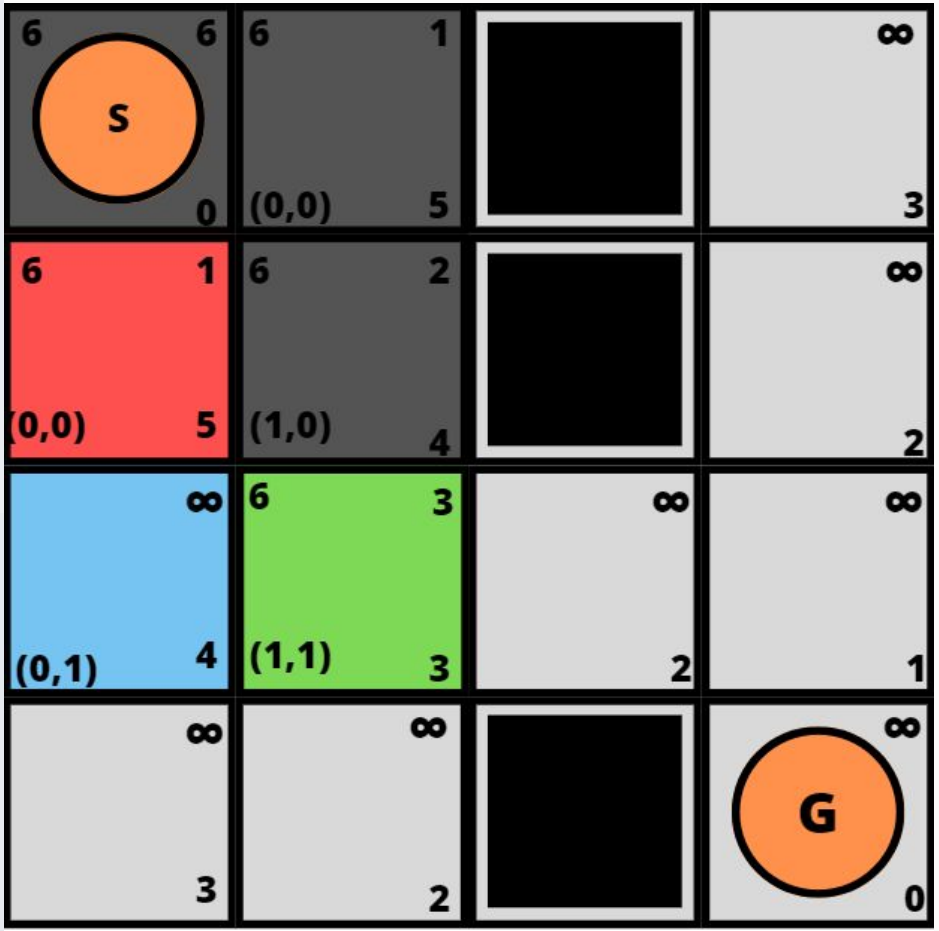
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
   1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
   2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
   3. $parent(v) \leftarrow u$
   4. $g(v) \leftarrow cost_v$
   5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
   6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
   7. **else** Insertar v en $Open$



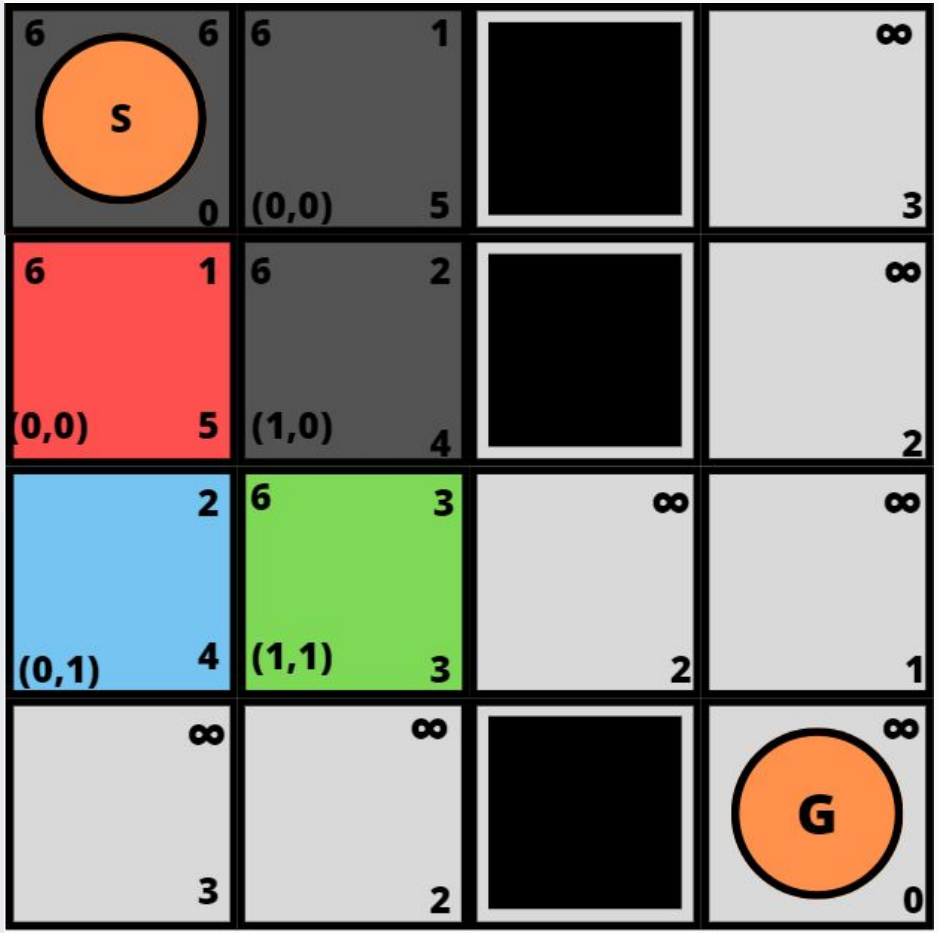
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



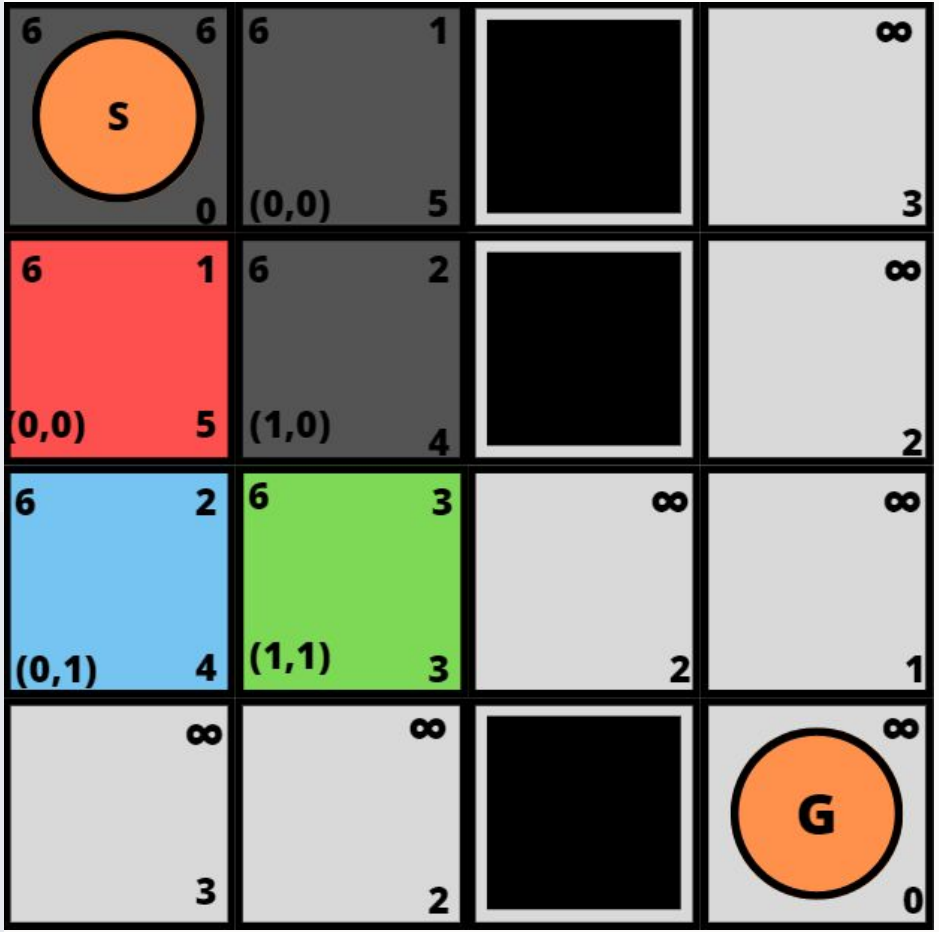
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



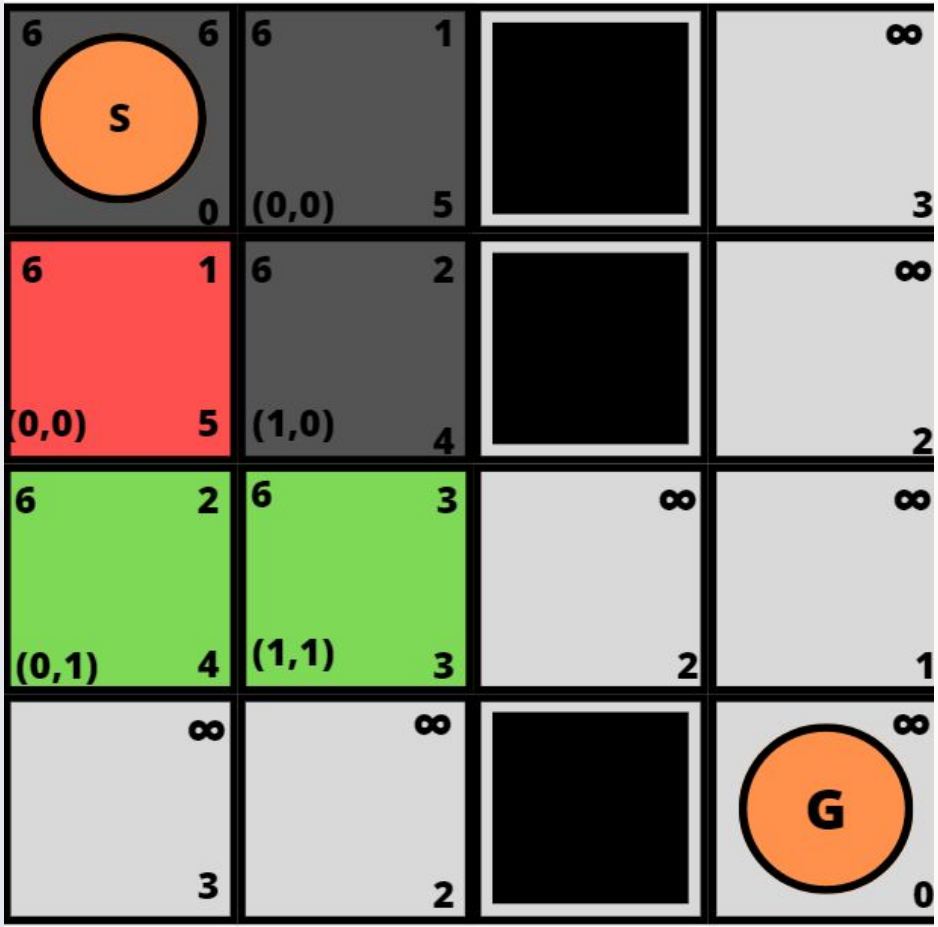
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



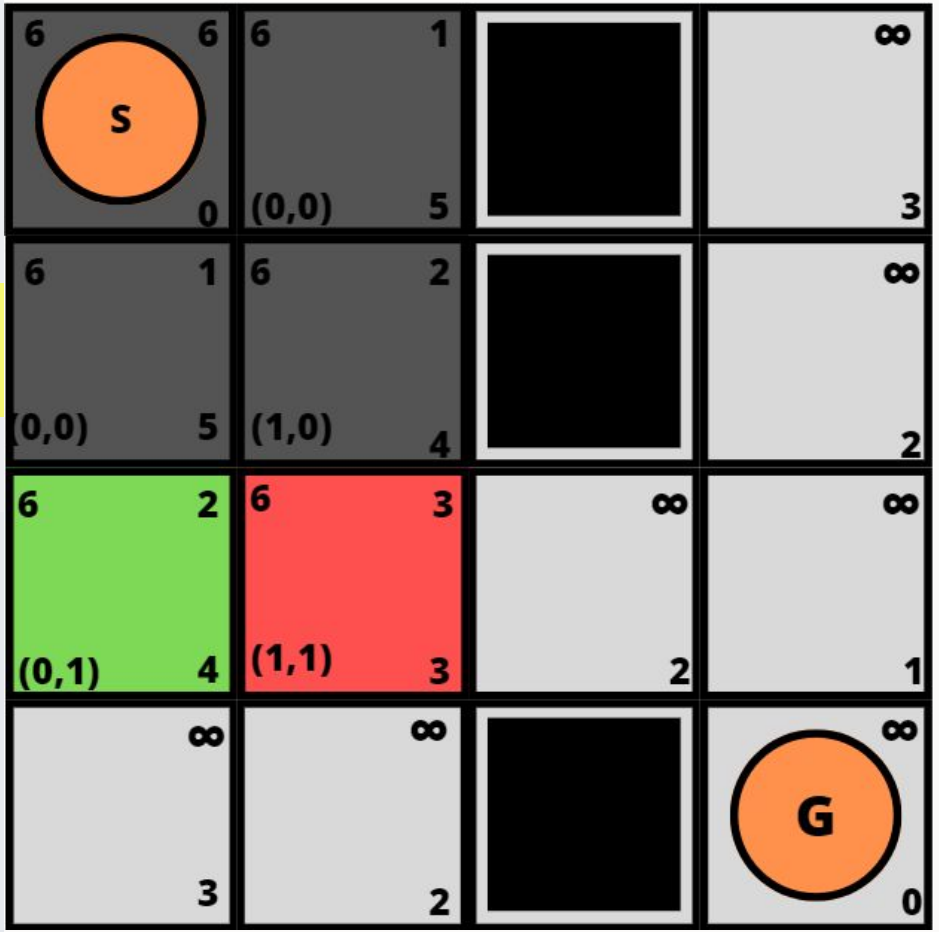
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



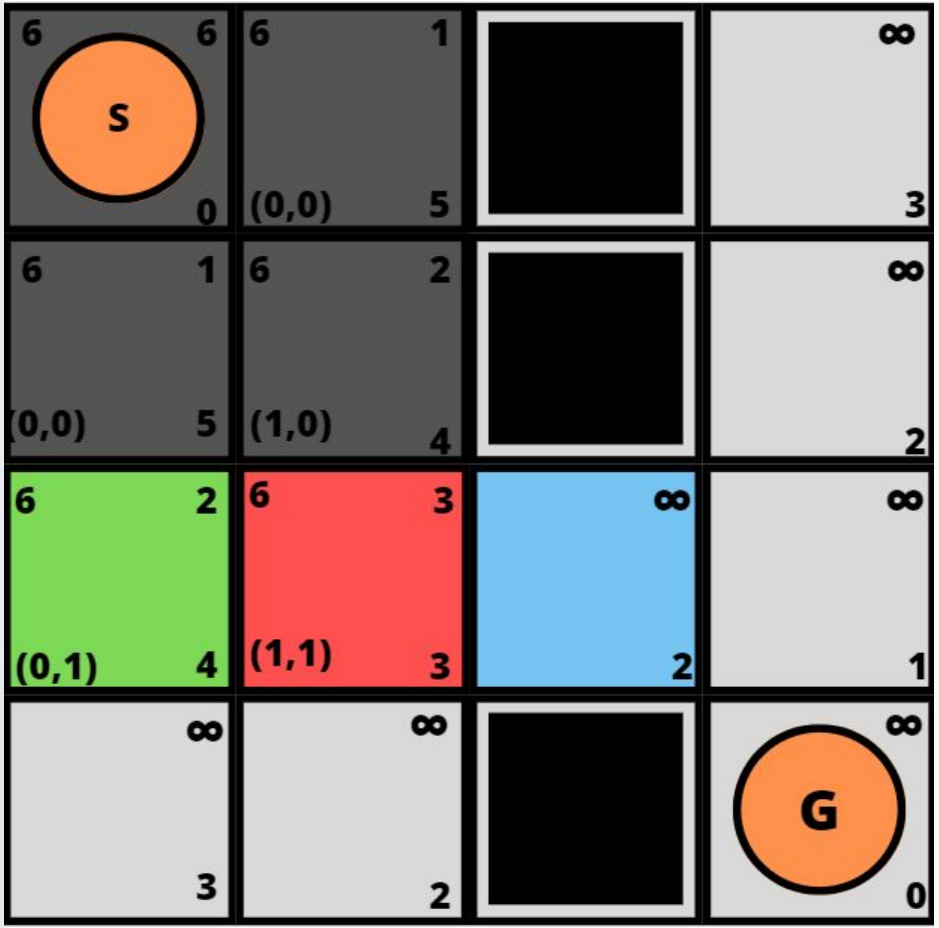
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



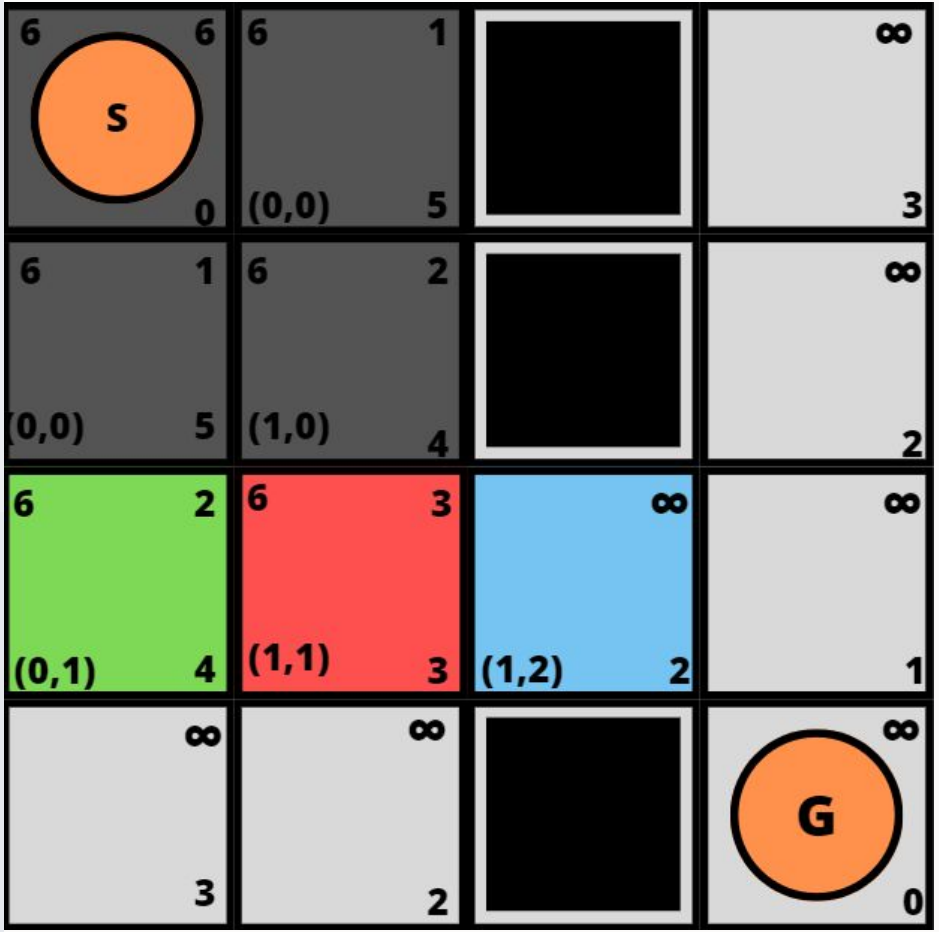
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



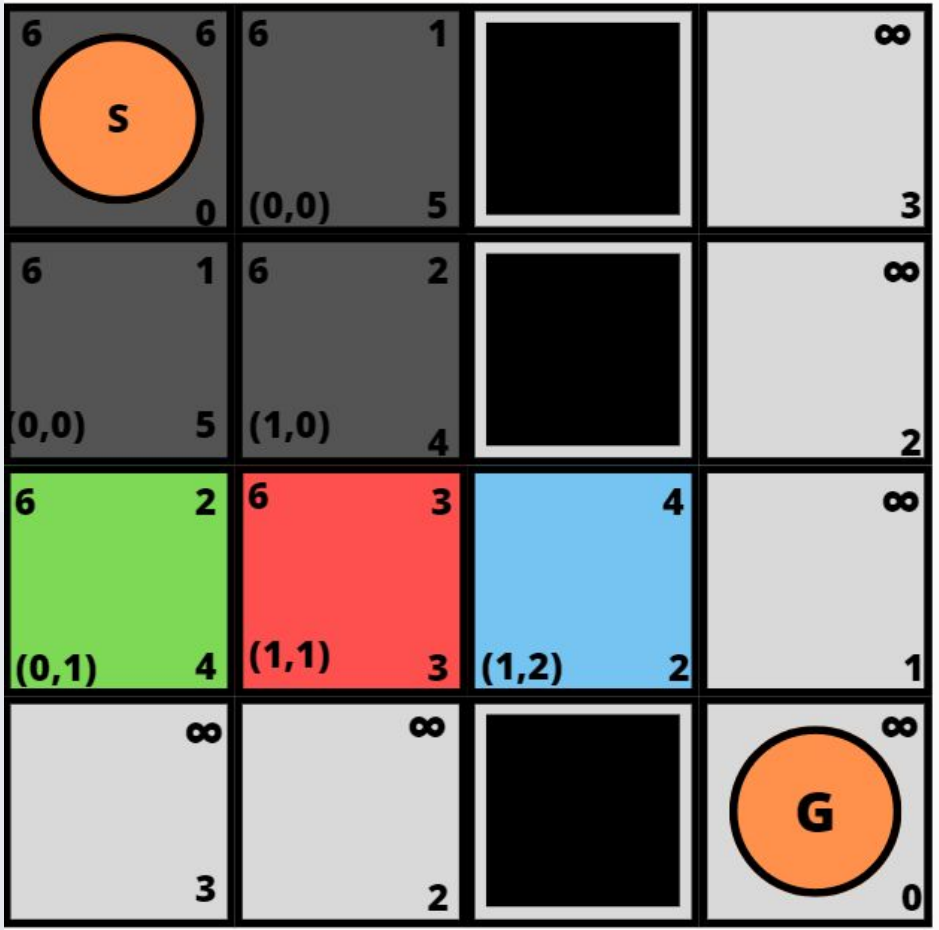
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
   1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
   2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
   3. $parent(v) \leftarrow u$
   4. $g(v) \leftarrow cost_v$
   5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
   6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
   7. **else** Insertar v en $Open$



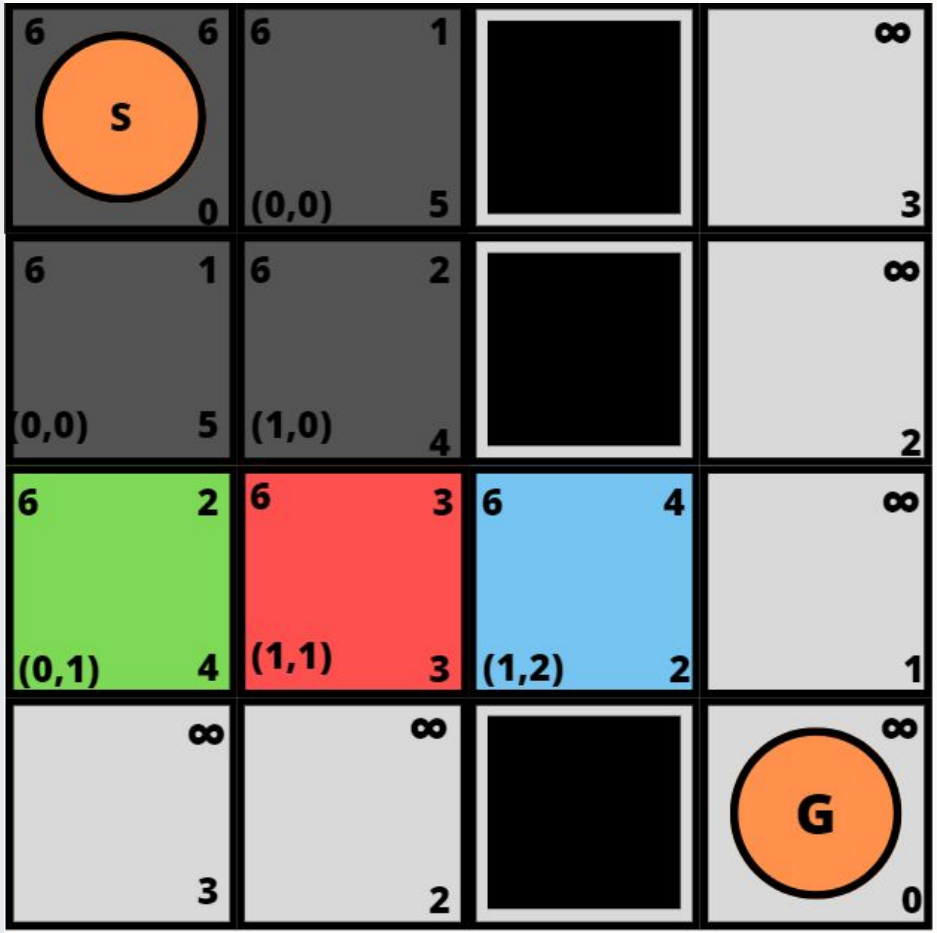
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



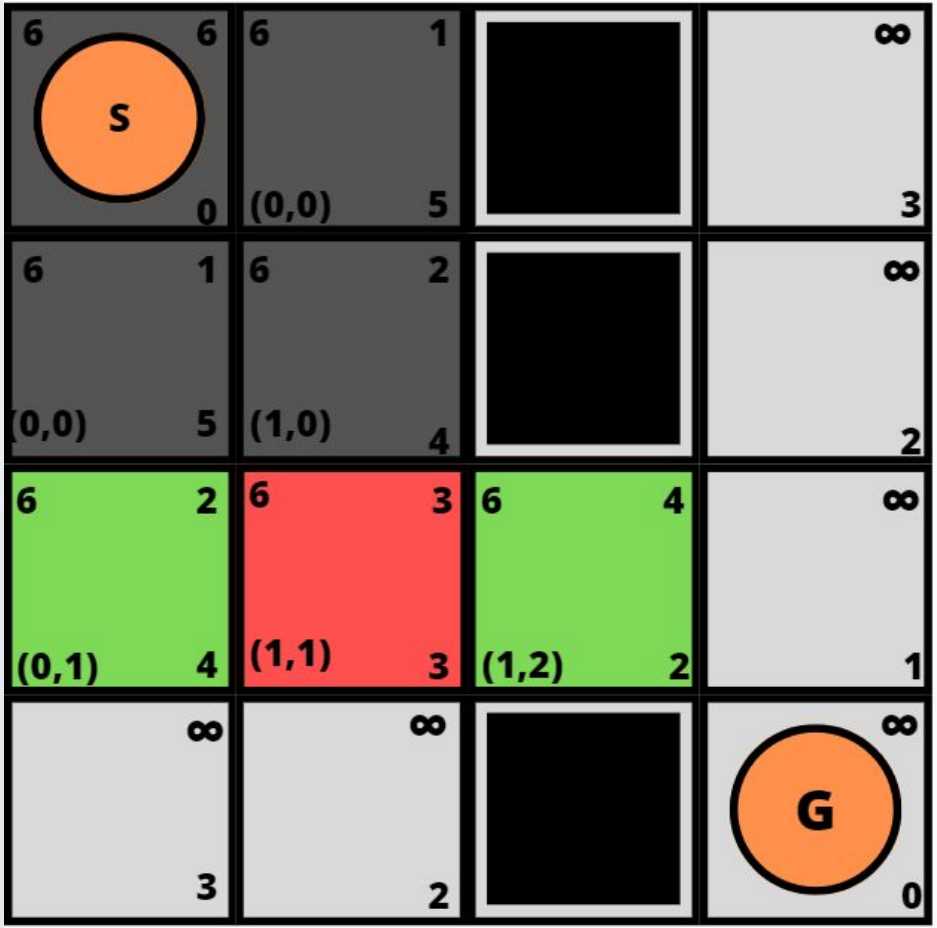
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



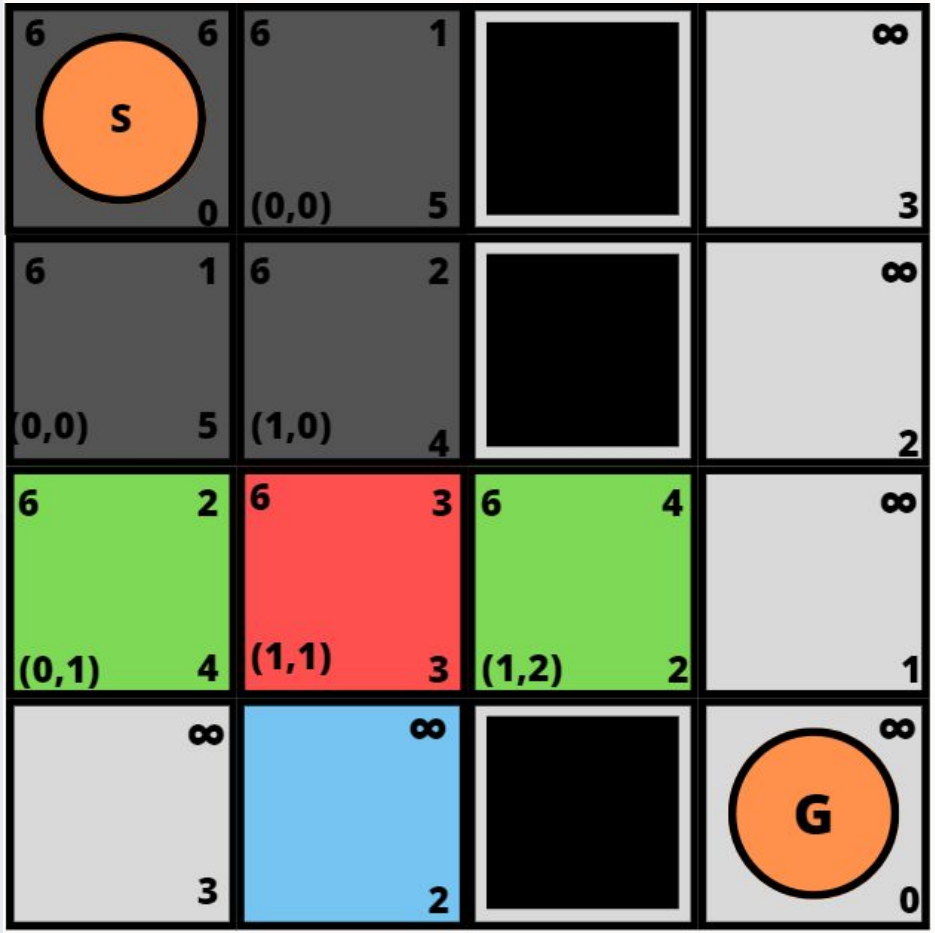
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



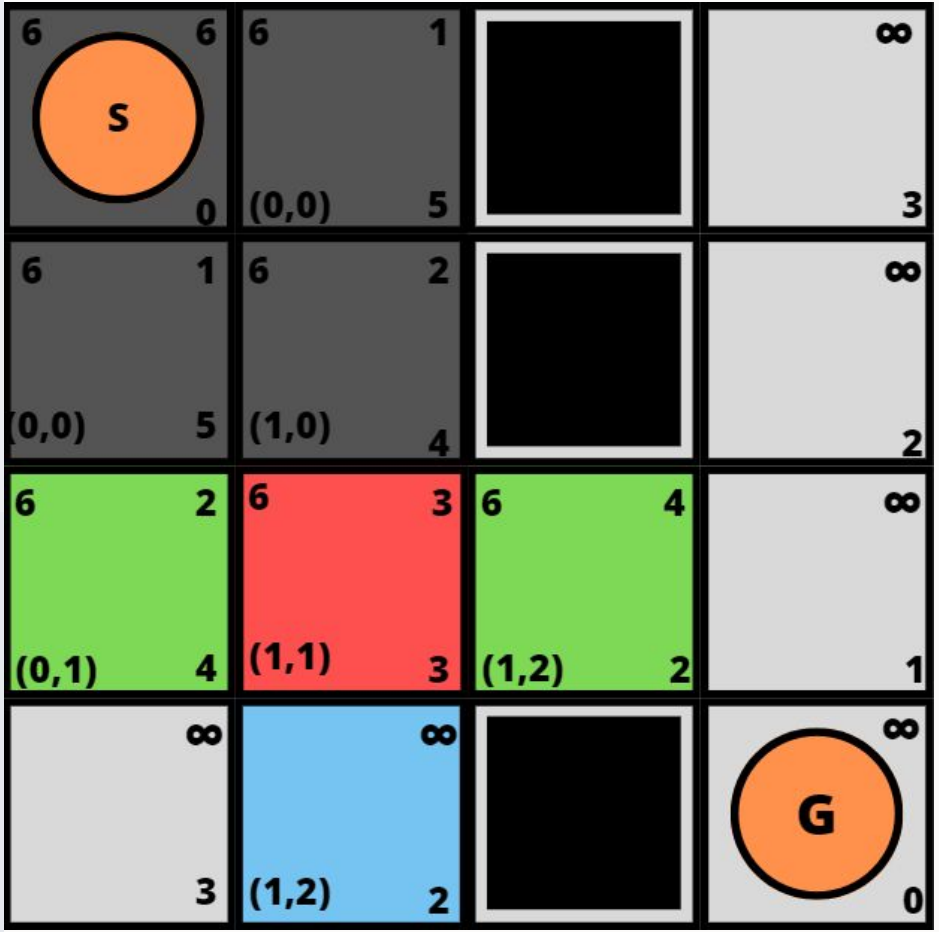
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



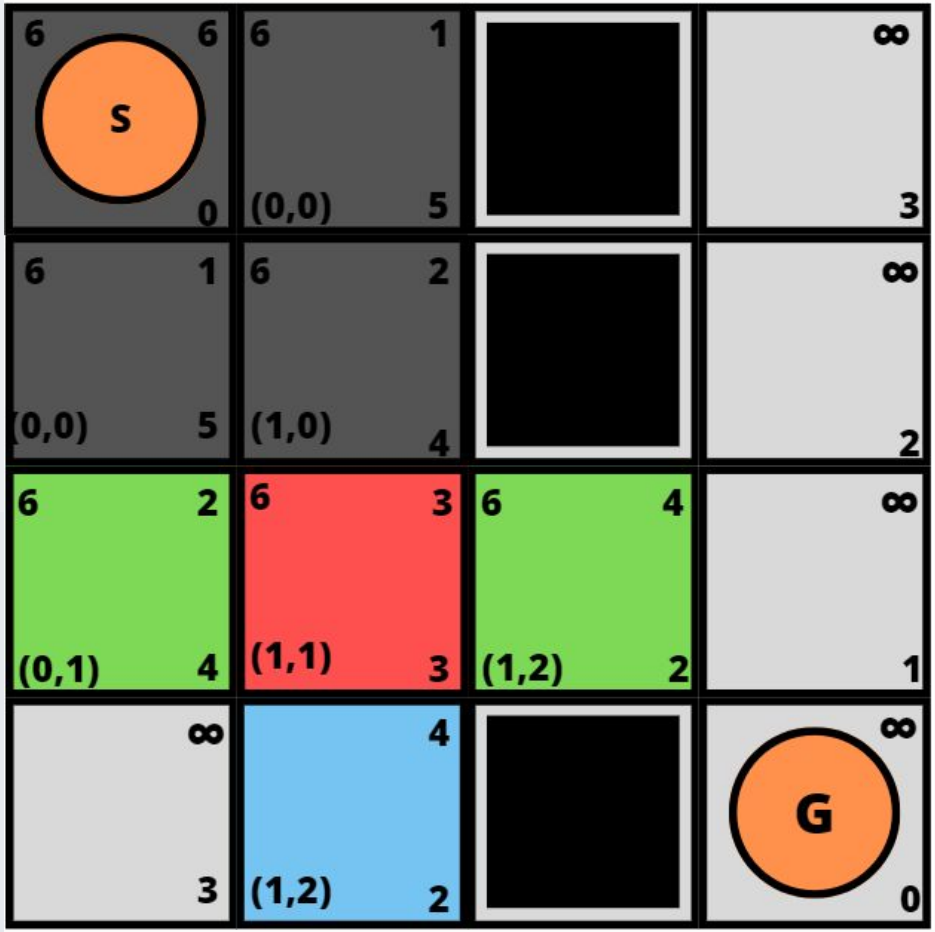
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



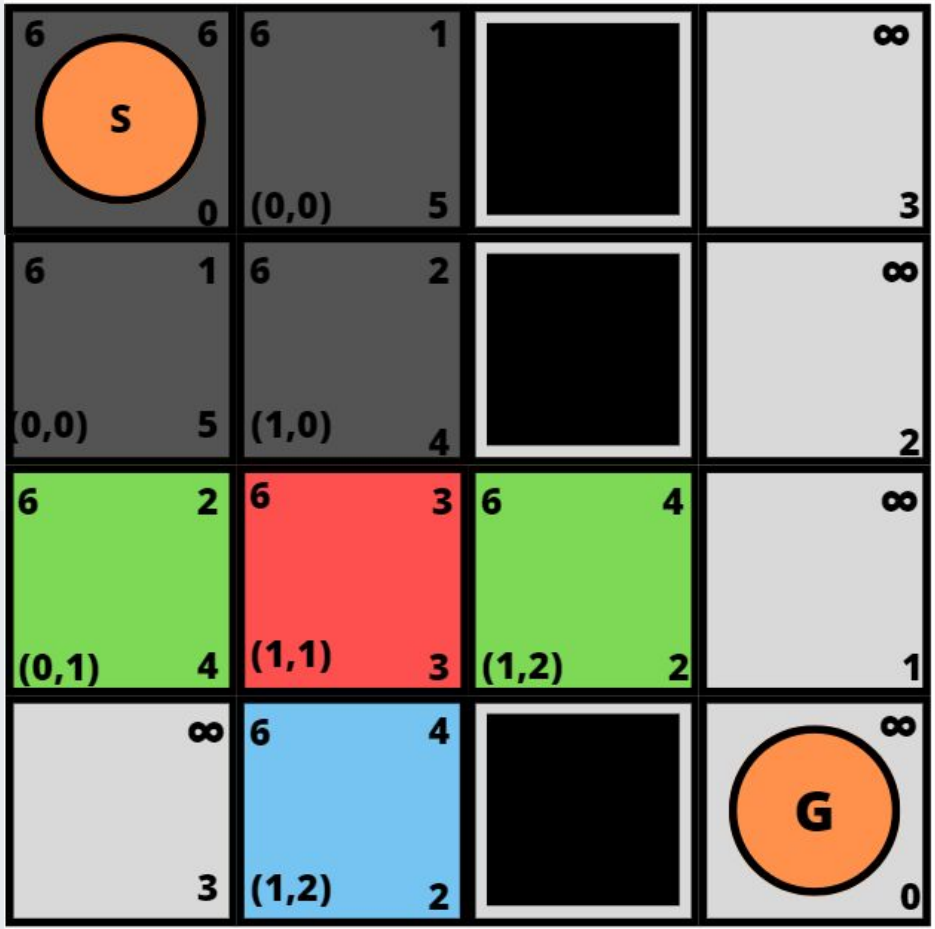
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



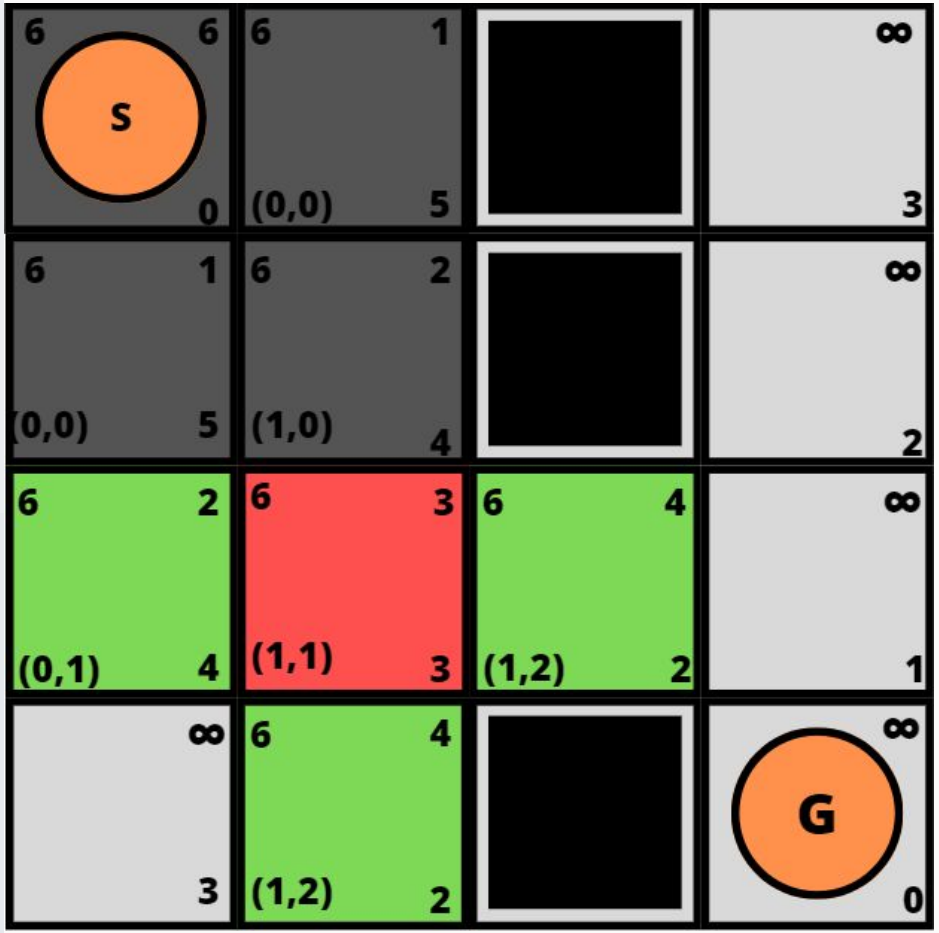
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



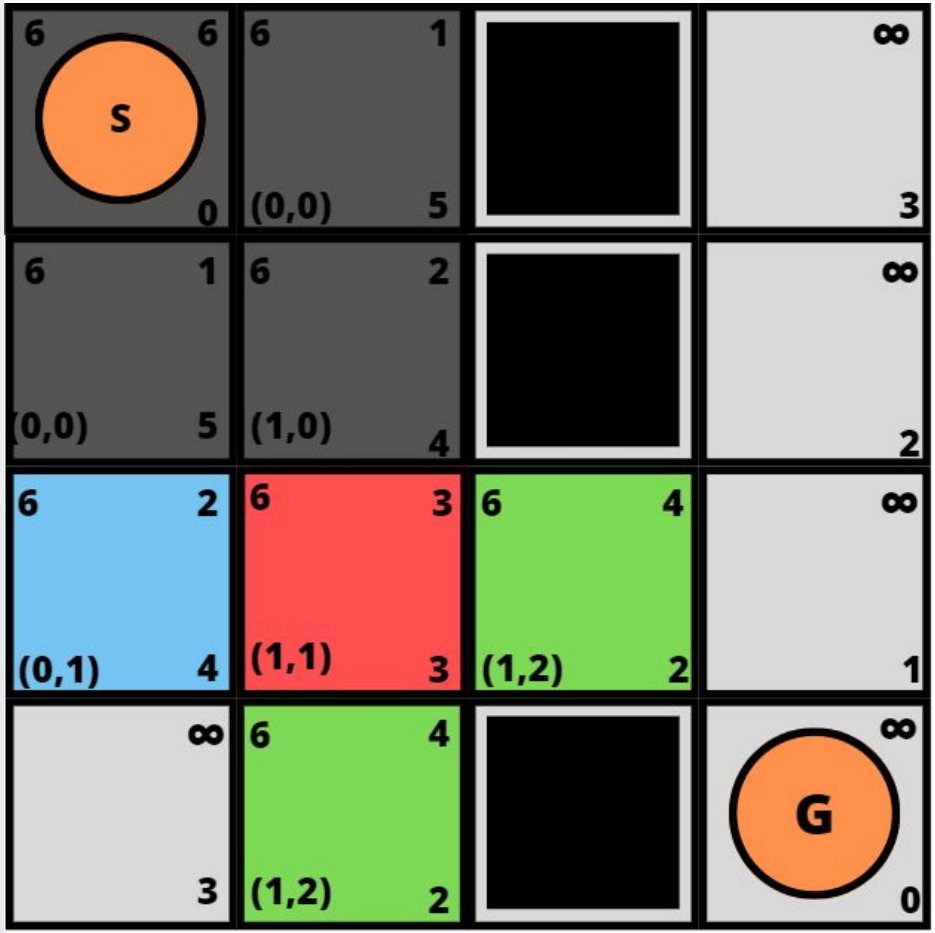
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



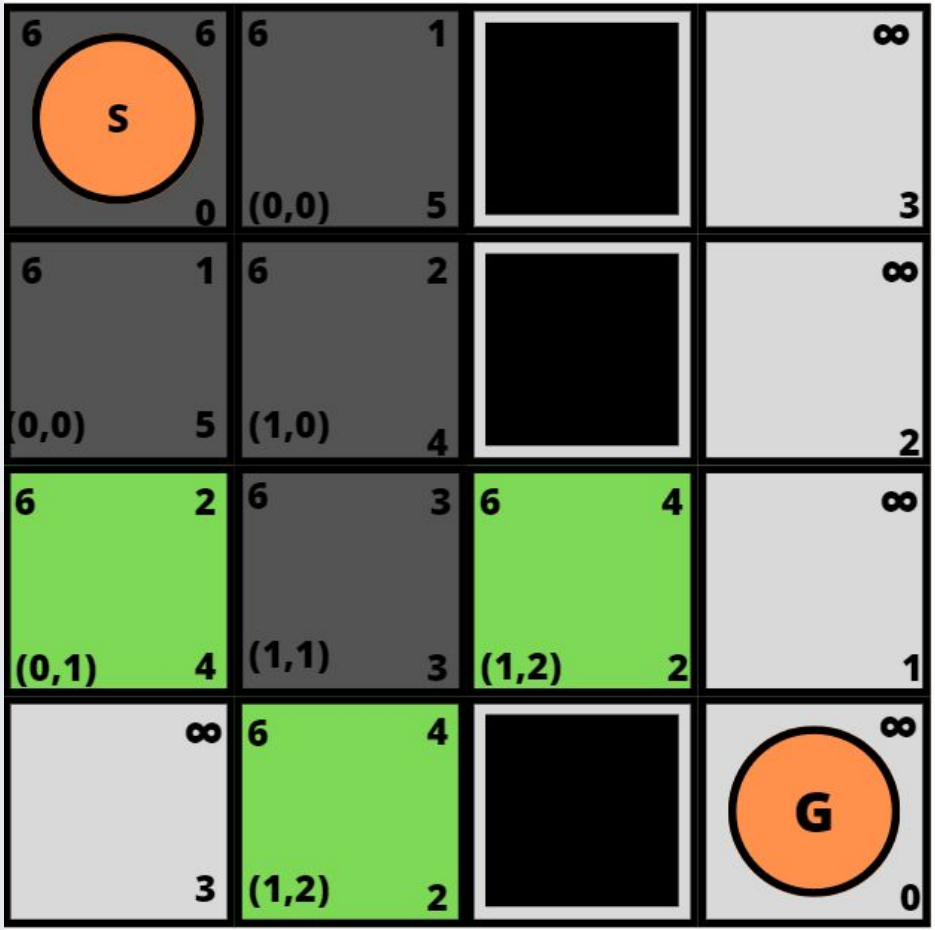
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



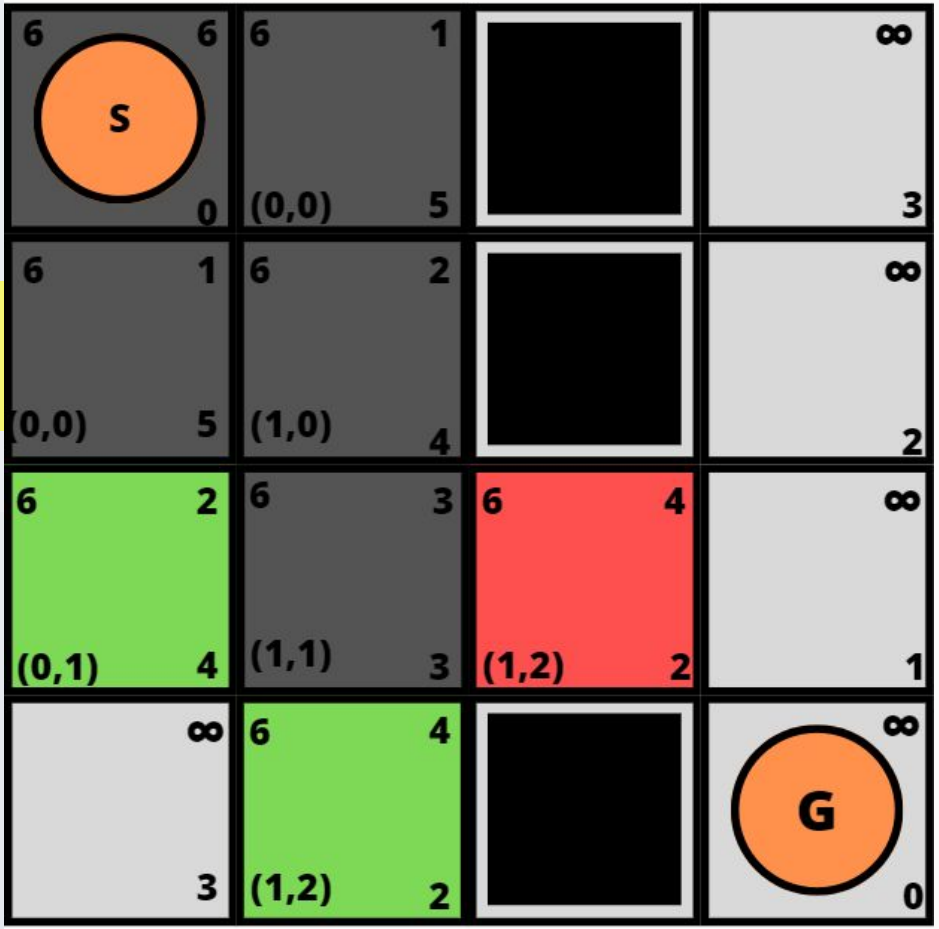
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
   1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
   2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
   3. $parent(v) \leftarrow u$
   4. $g(v) \leftarrow cost_v$
   5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
   6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
   7. **else** Insertar v en $Open$



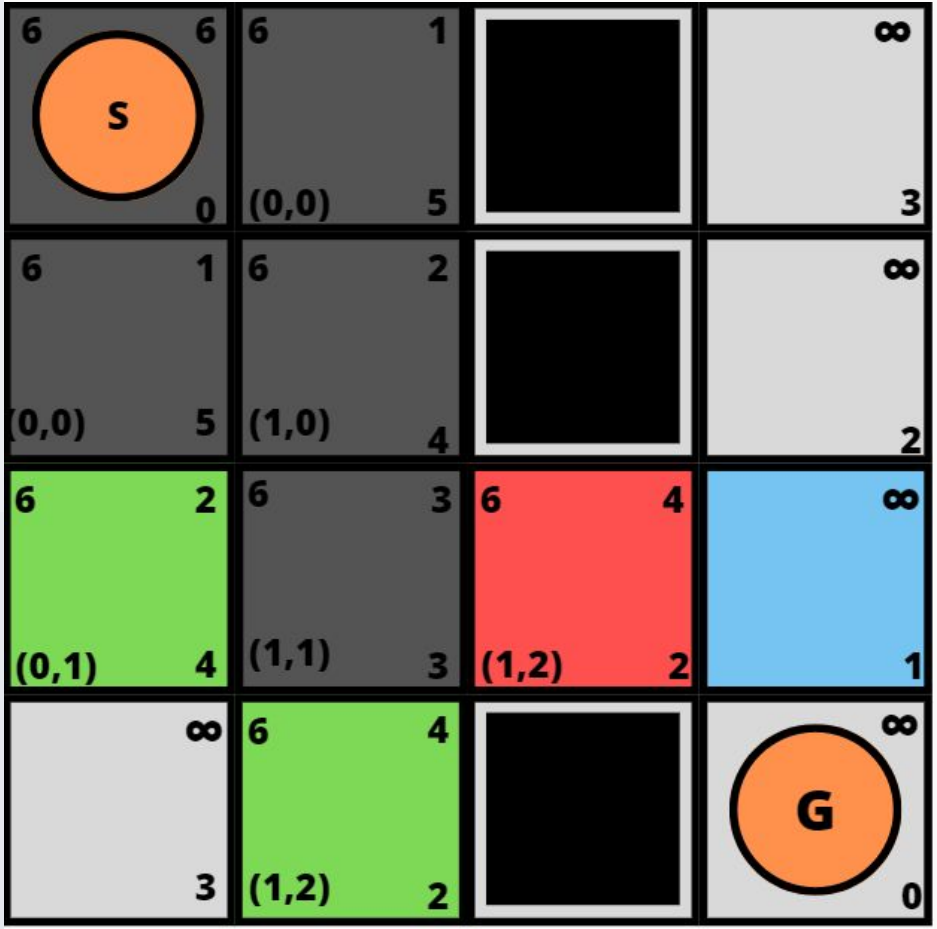
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
   1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
   2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
   3. $parent(v) \leftarrow u$
   4. $g(v) \leftarrow cost_v$
   5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
   6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
   7. **else** Insertar v en $Open$



1 **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$

2 $Open \leftarrow \{s_0\}$

3 $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$

4 **while** $Open \neq \emptyset$

5 Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f

6 **if** u es objetivo **return** u

7 **for each** $v \in Succ(u)$ **do**

1 $cost_v = g(u) + c(u, v)$

2 **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**

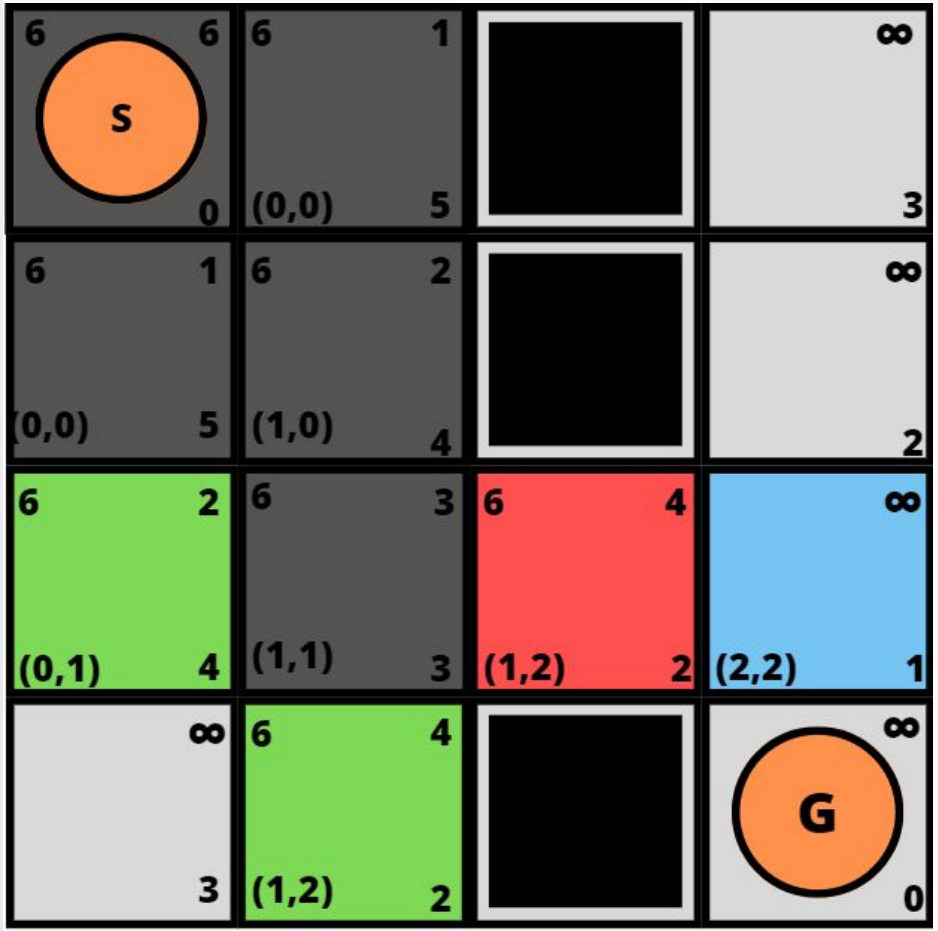
3 $parent(v) \leftarrow u$

4 $g(v) \leftarrow cost_v$

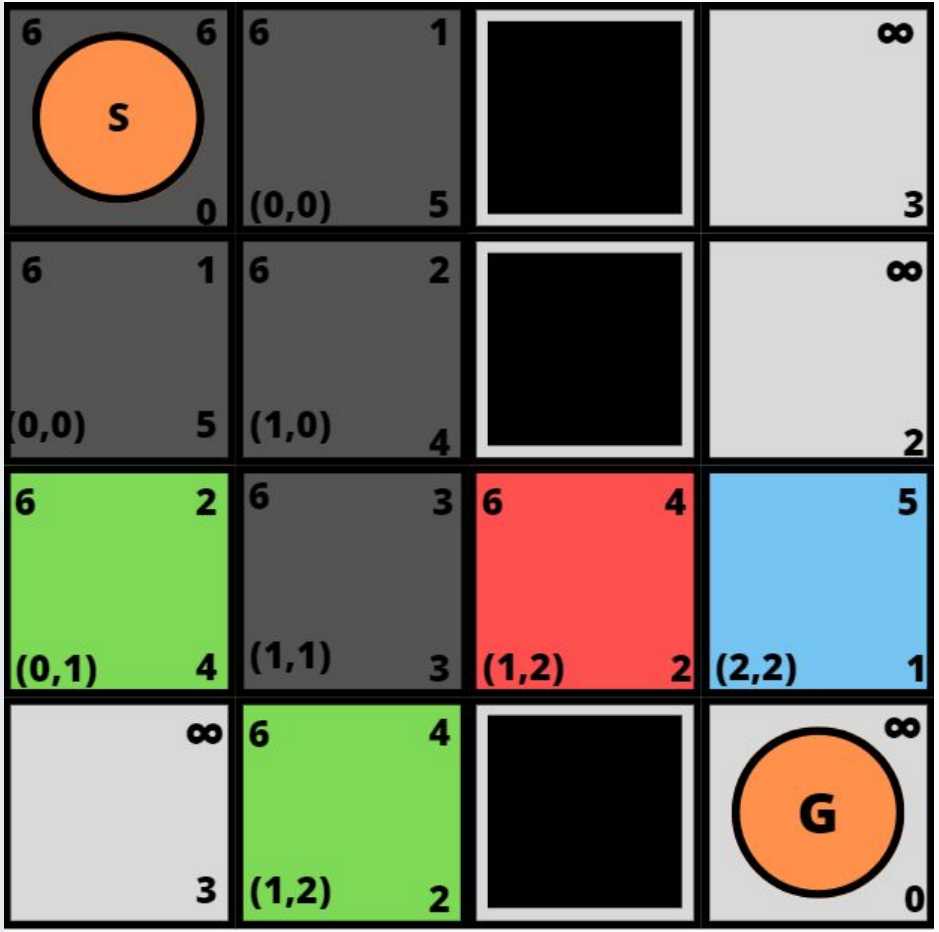
5 $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$

6 **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$

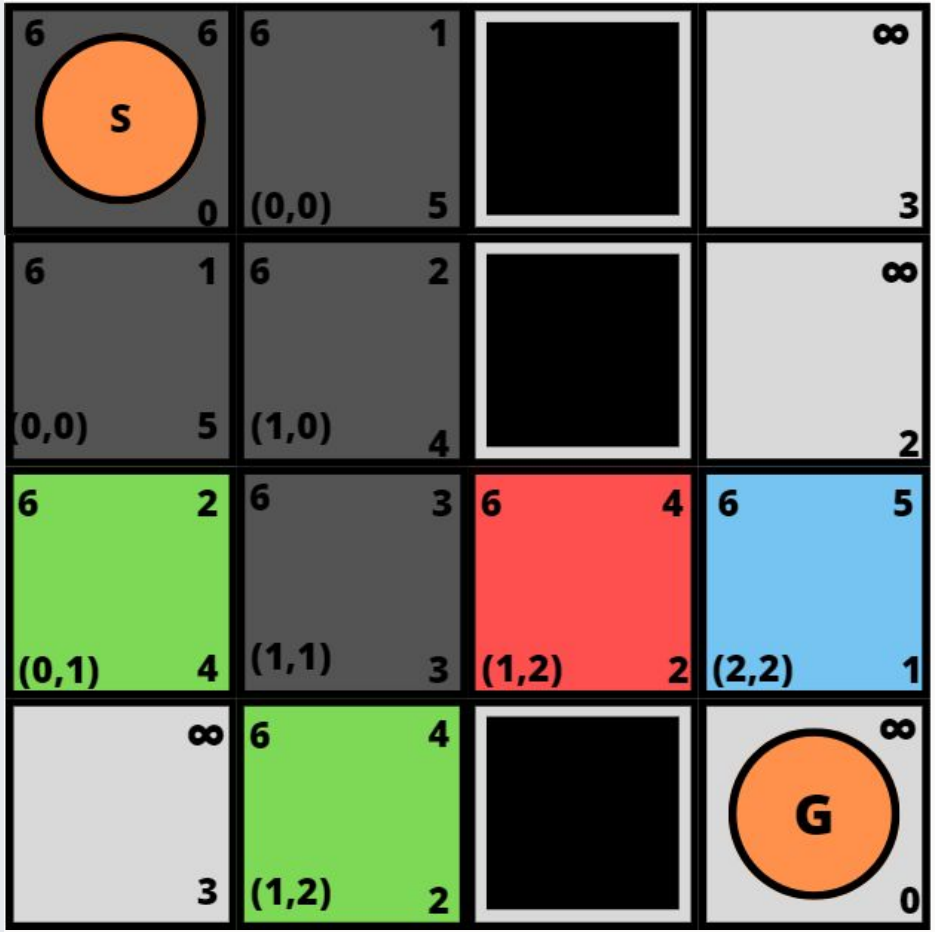
7 **else** Insertar v en $Open$



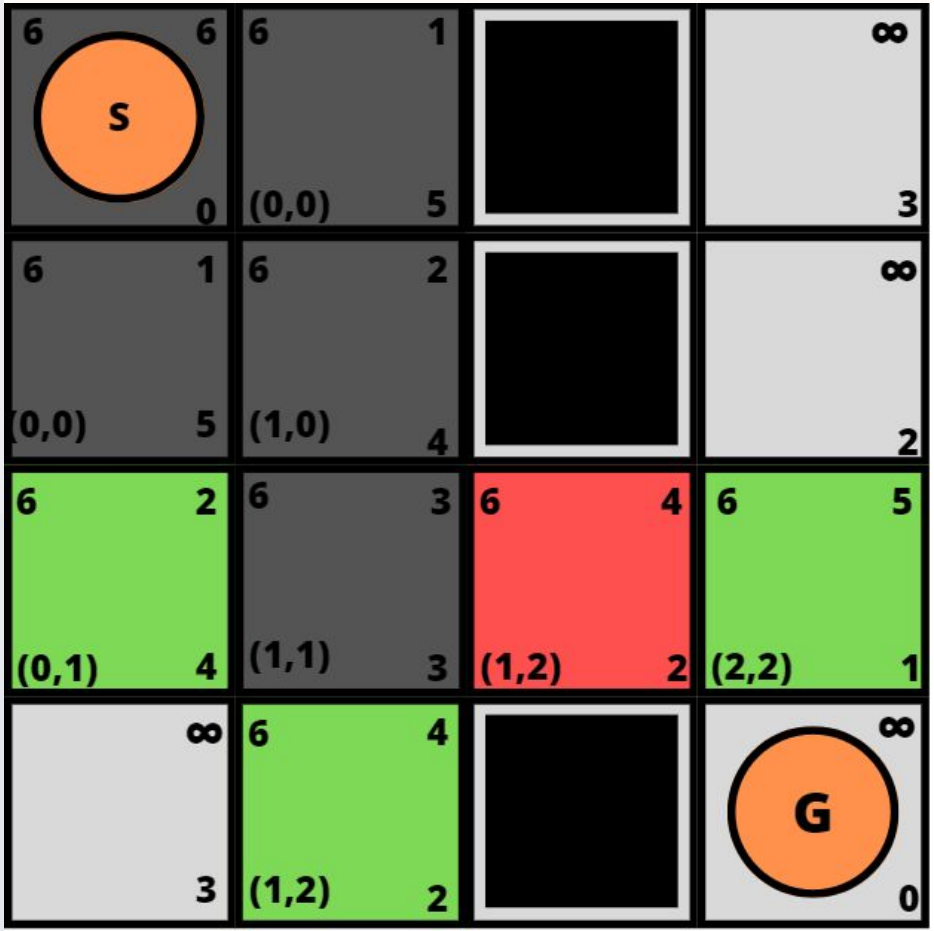
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



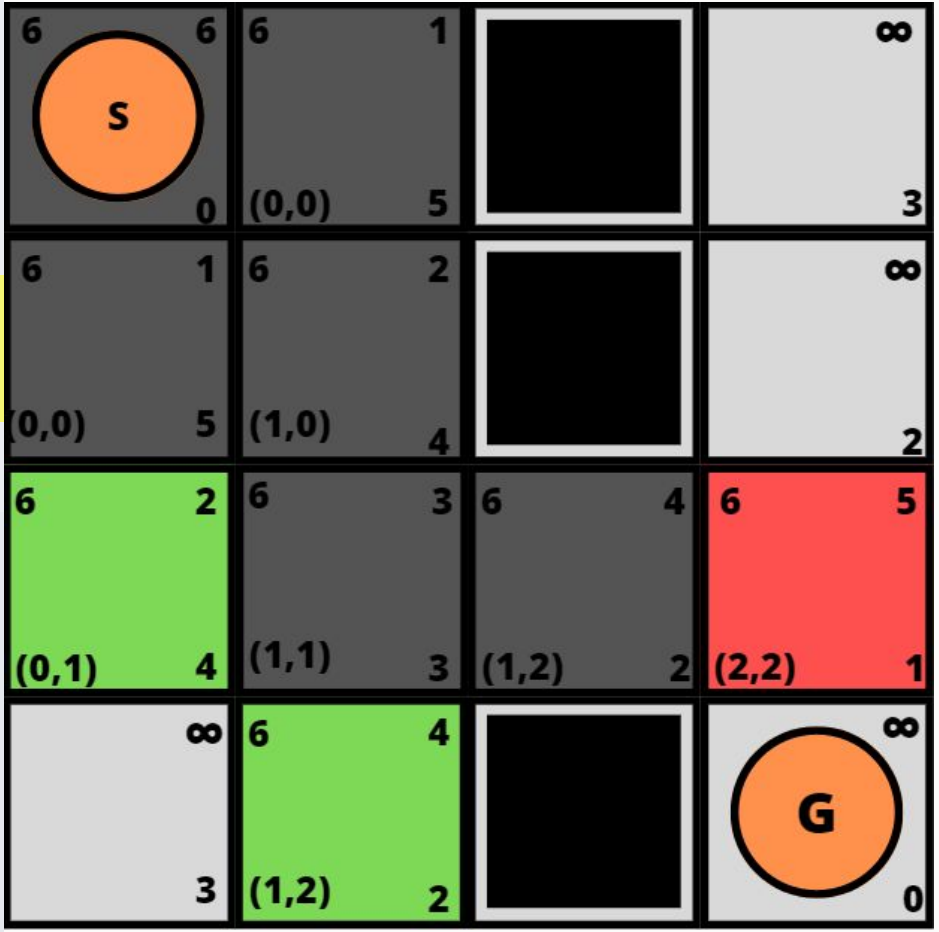
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



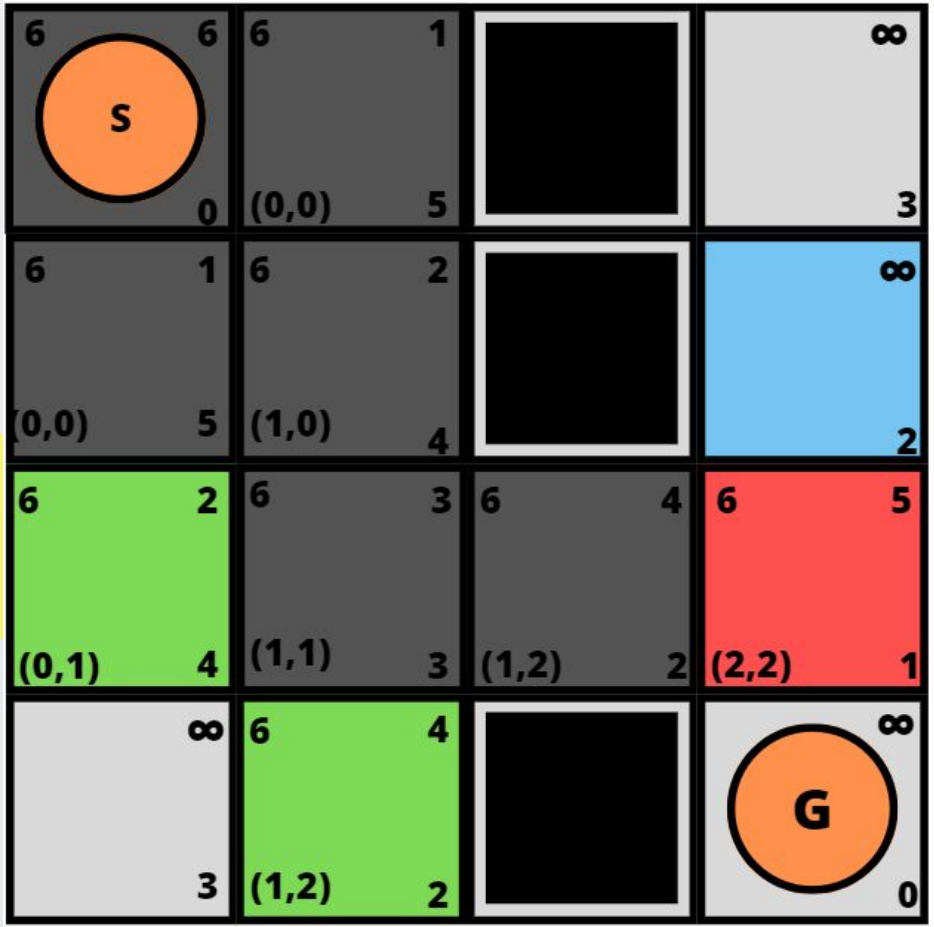
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
   1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
   2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
   3. $parent(v) \leftarrow u$
   4. $g(v) \leftarrow cost_v$
   5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
   6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
   7. **else** Insertar v en $Open$



1 **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$

2 $Open \leftarrow \{s_0\}$

3 $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$

4 **while** $Open \neq \emptyset$

5 Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f

6 **if** u es objetivo **return** u

7 **for each** $v \in Succ(u)$ **do**

1 $cost_v = g(u) + c(u, v)$

2 **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**

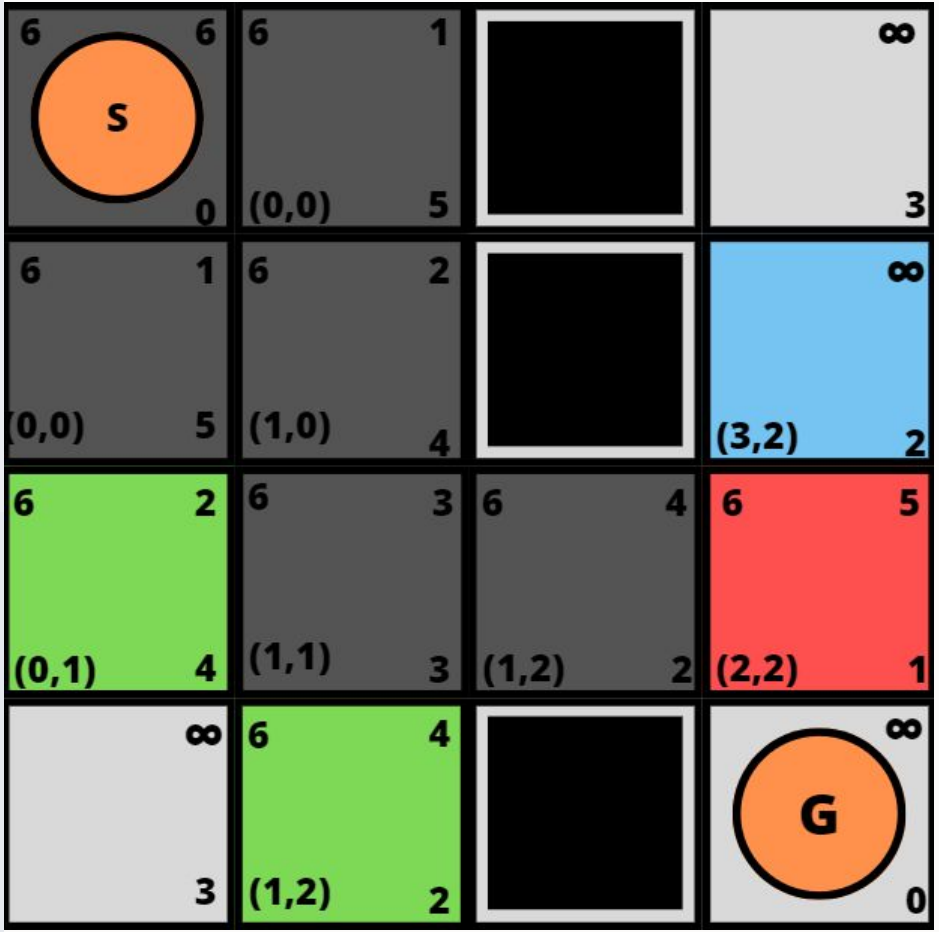
3 $parent(v) \leftarrow u$

4 $g(v) \leftarrow cost_v$

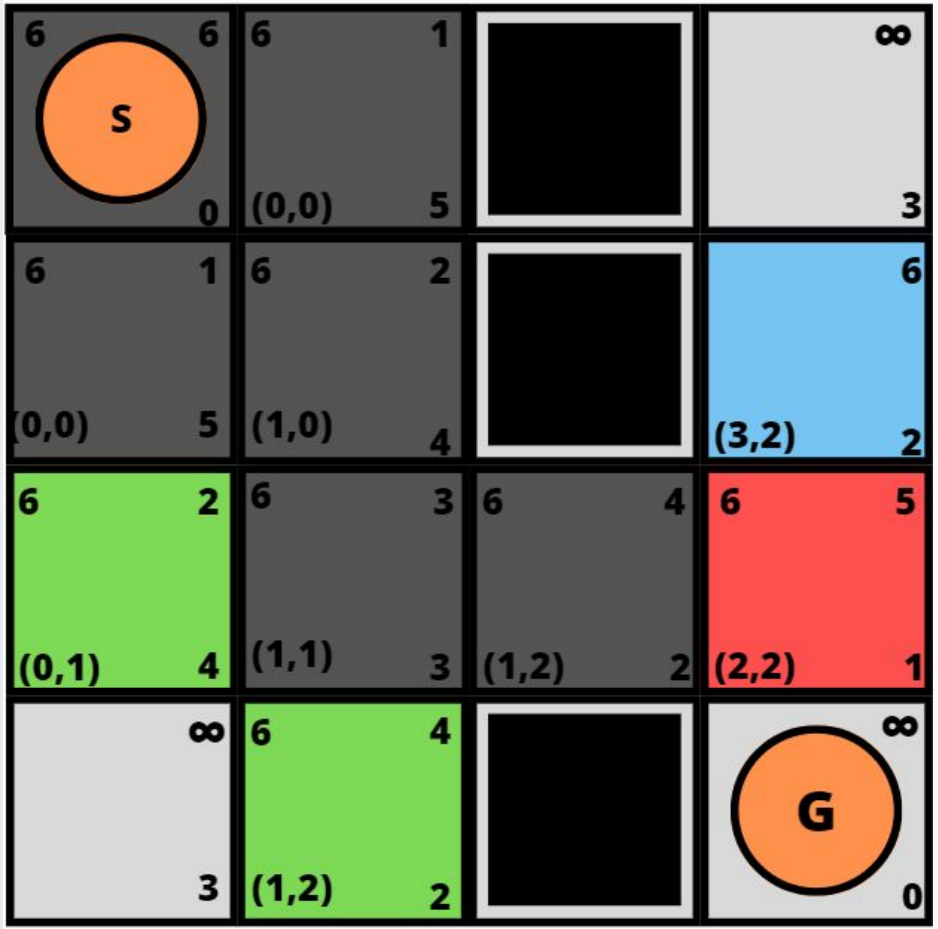
5 $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$

6 **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$

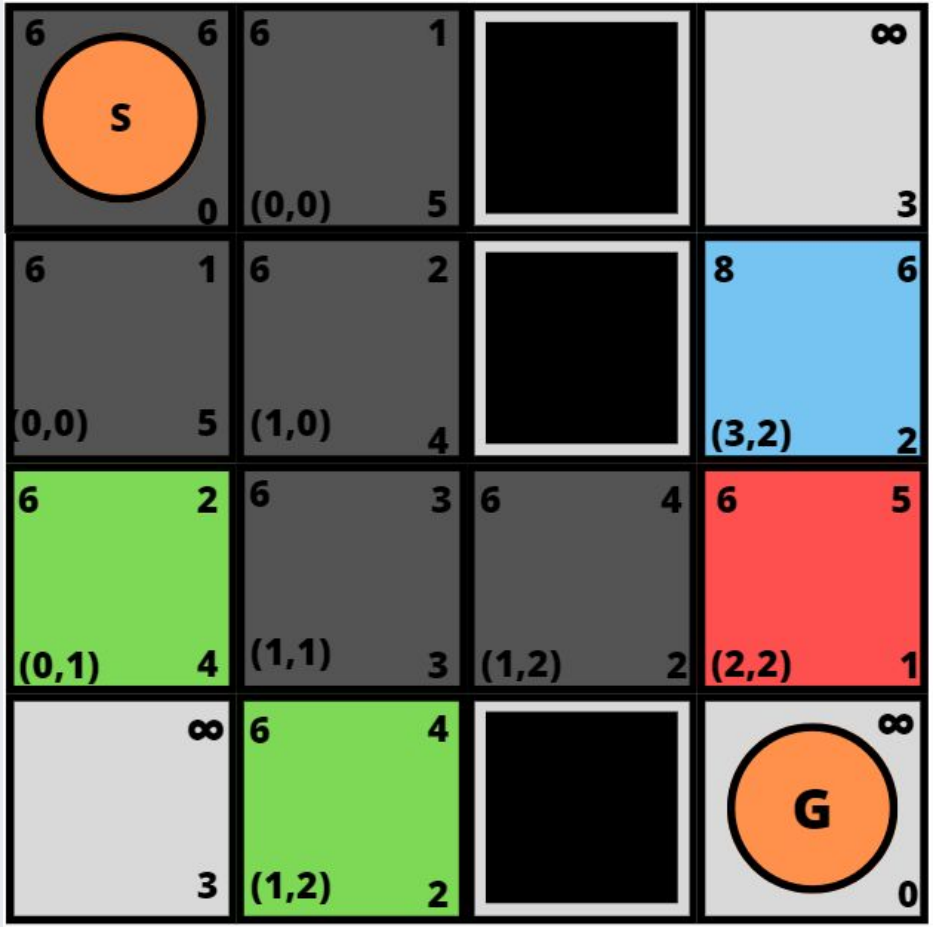
7 **else** Insertar v en $Open$



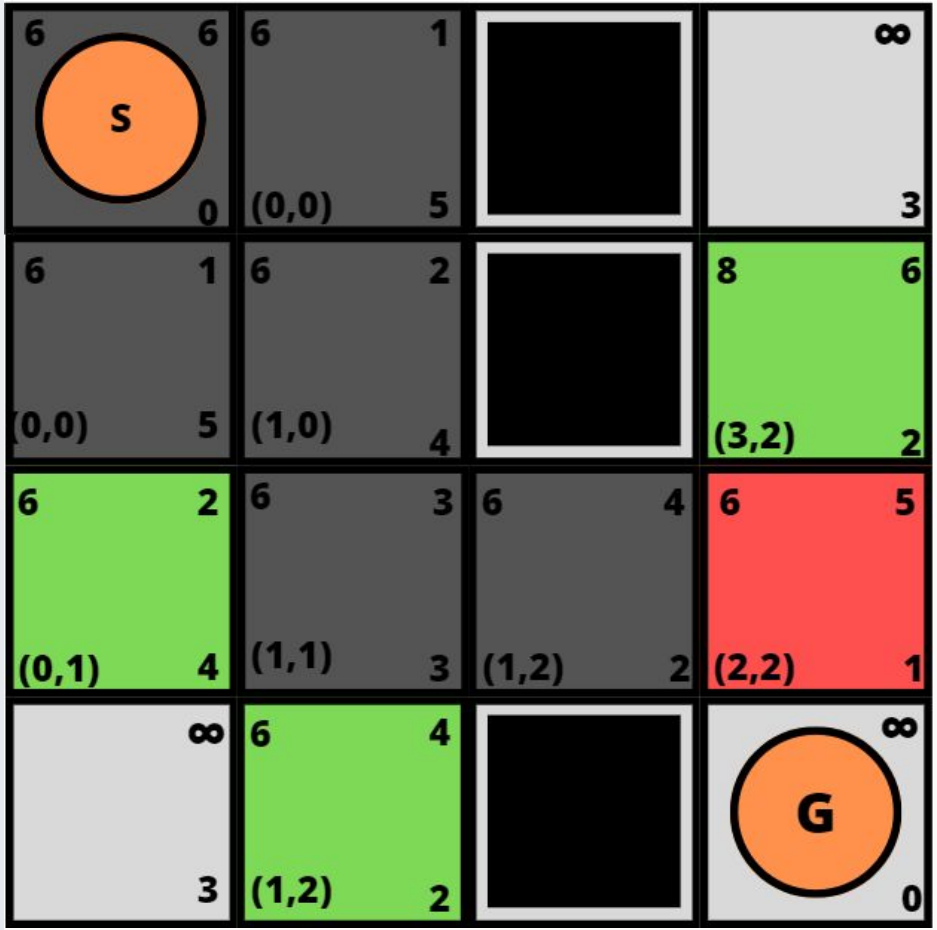
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



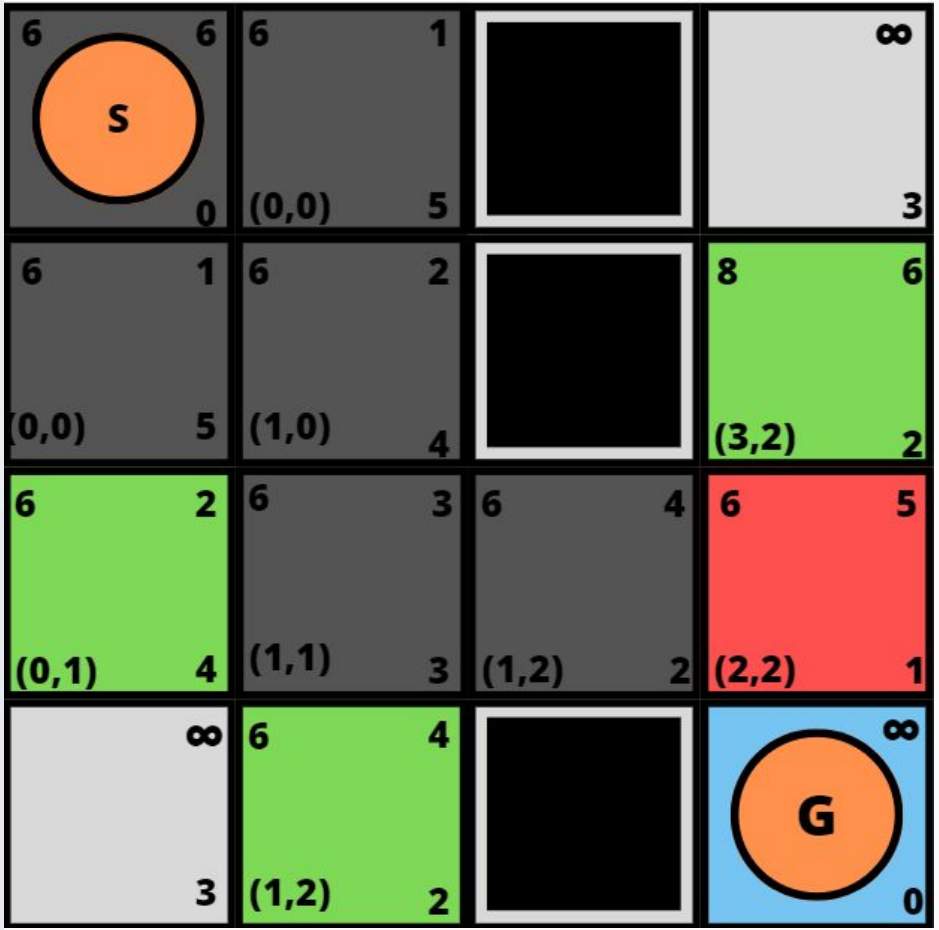
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



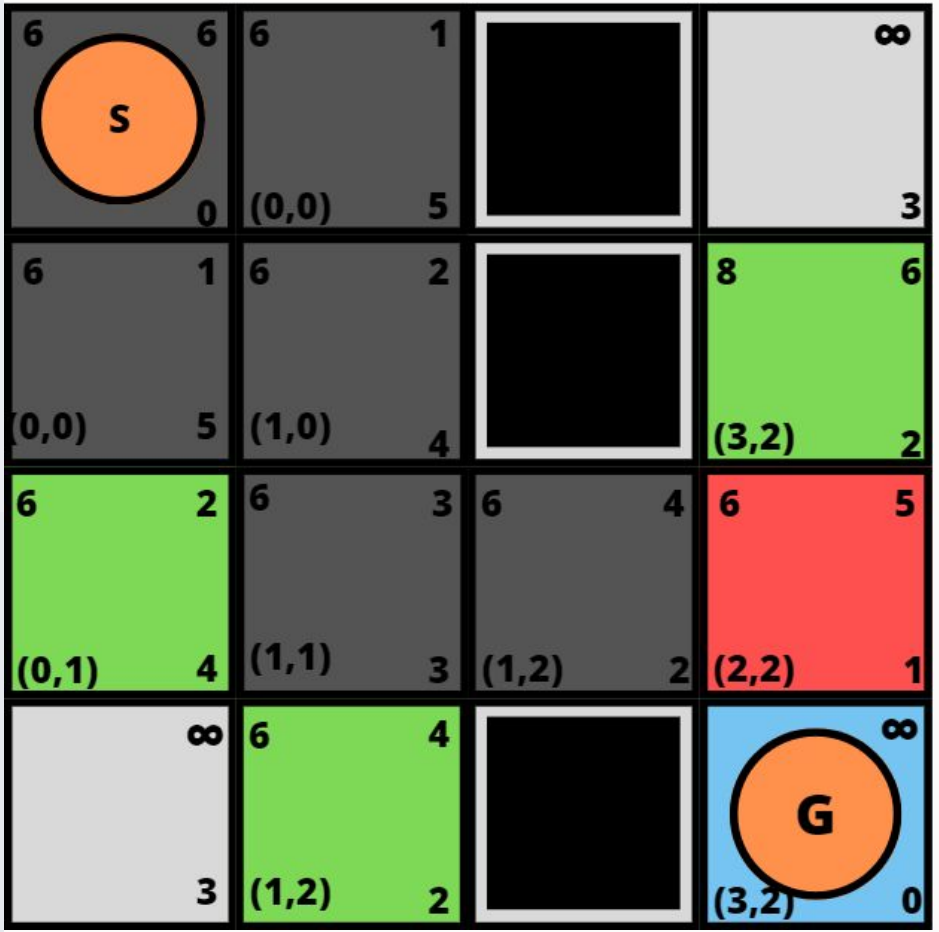
1 **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2 $Open \leftarrow \{s_0\}$
3 $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4 **while** $Open \neq \emptyset$
5 Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6 **if** u es objetivo **return** u
7 **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
1 $cost_v = g(u) + c(u, v)$
2 **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
3 $parent(v) \leftarrow u$
4 $g(v) \leftarrow cost_v$
5 $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
6 **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
7 **else** Insertar v en $Open$



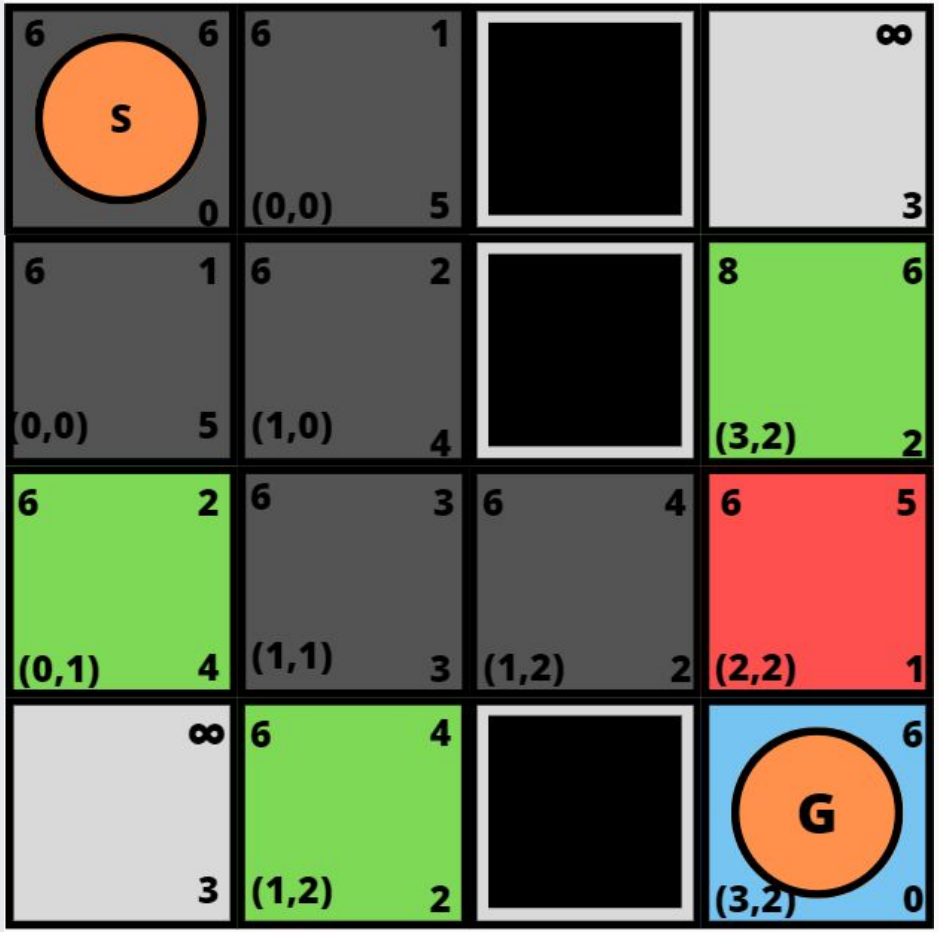
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



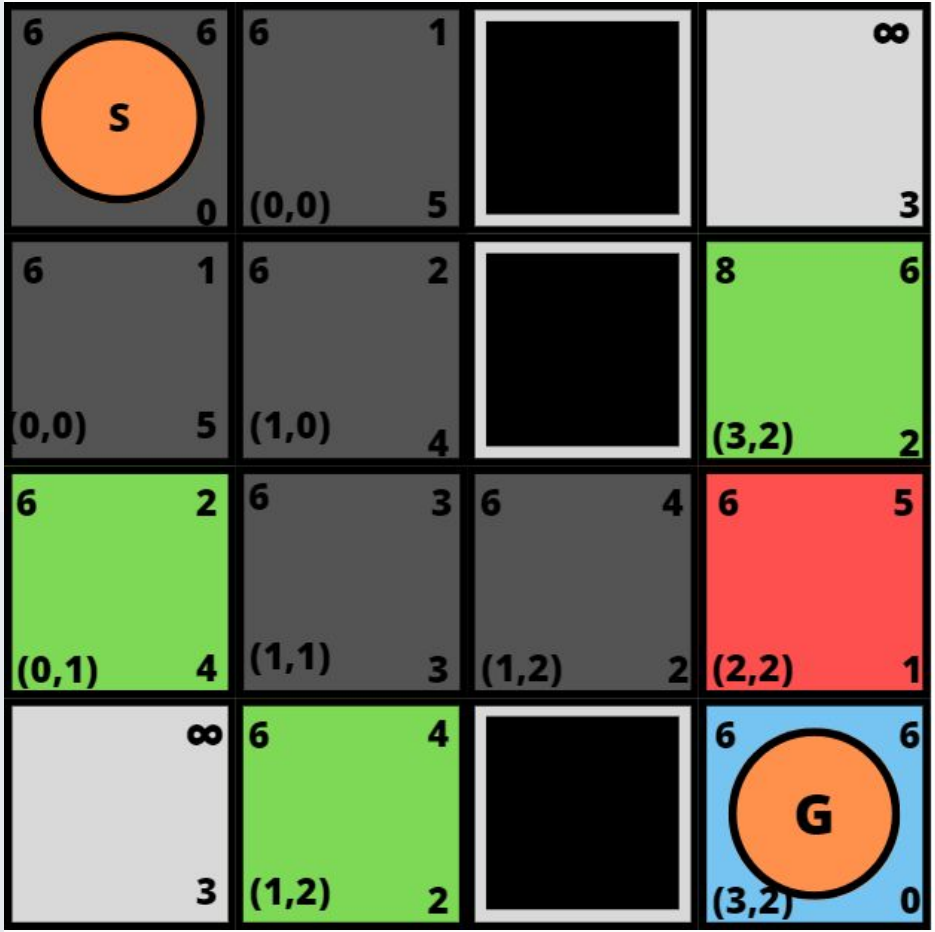
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



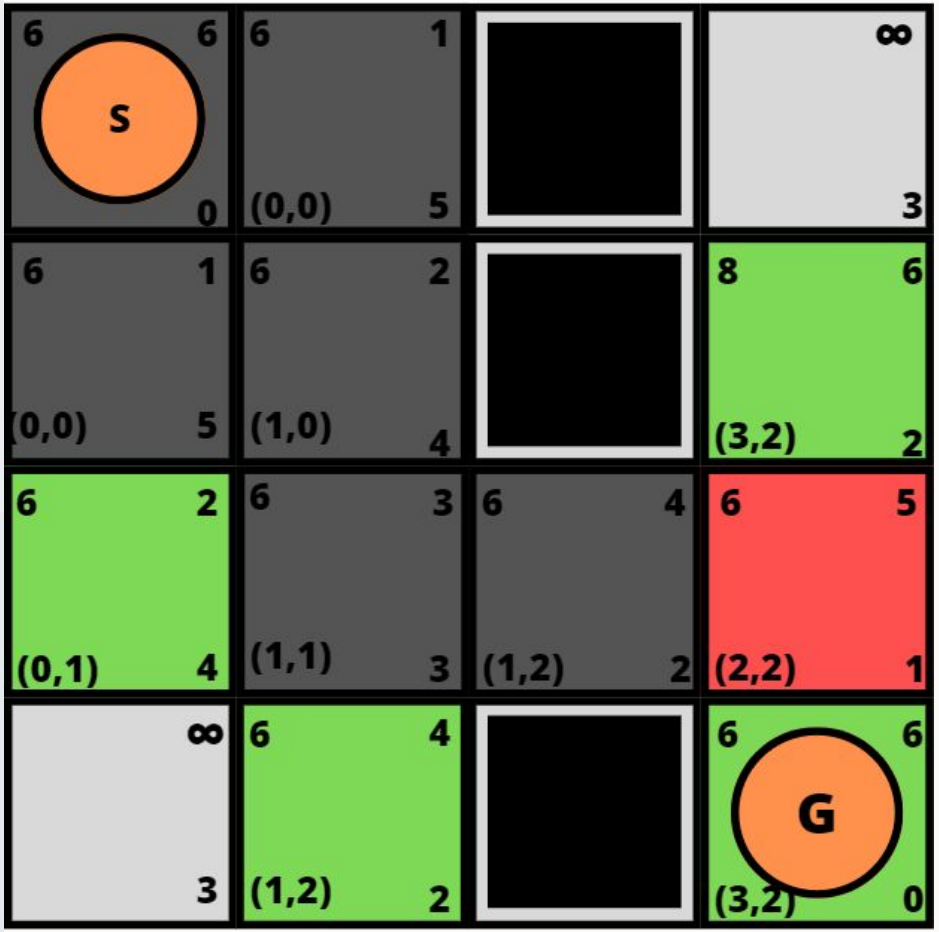
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



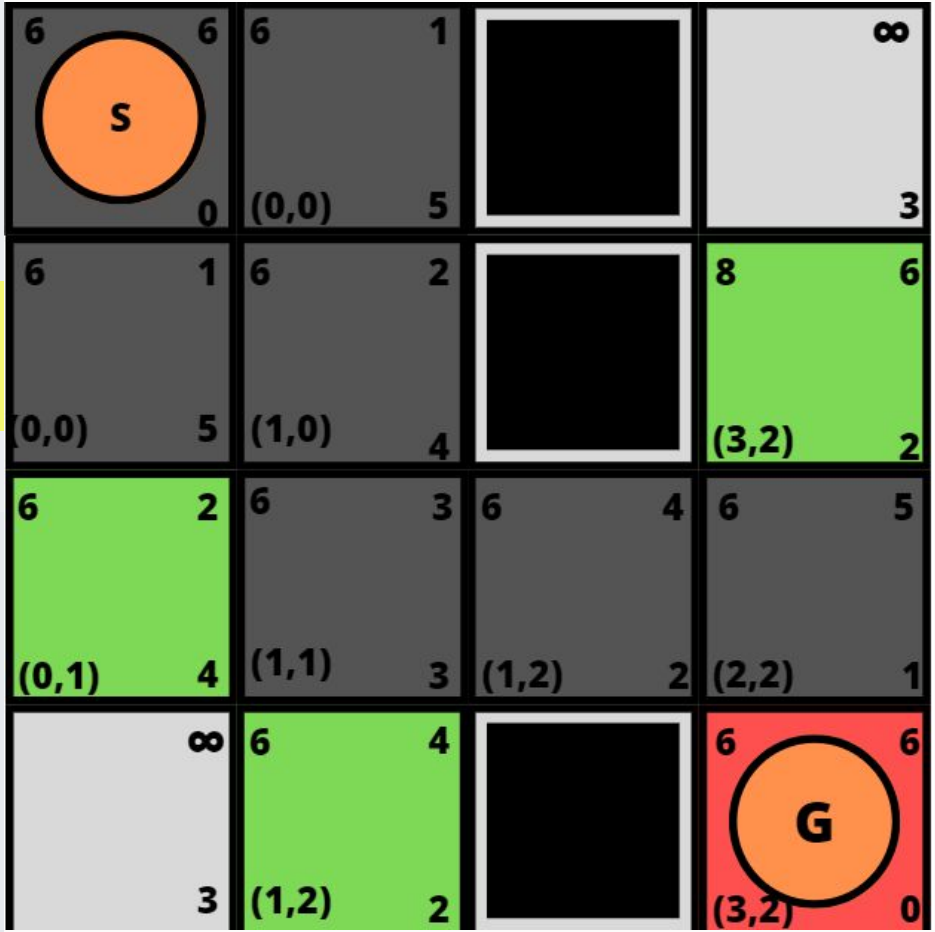
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



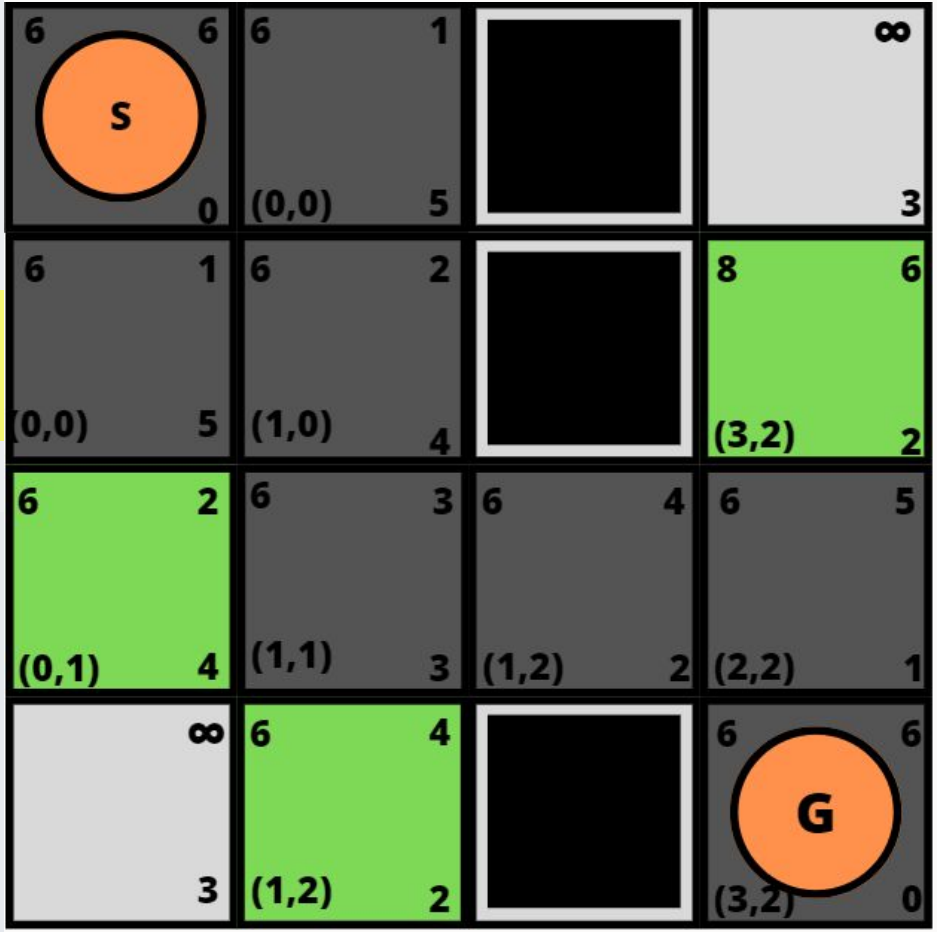
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



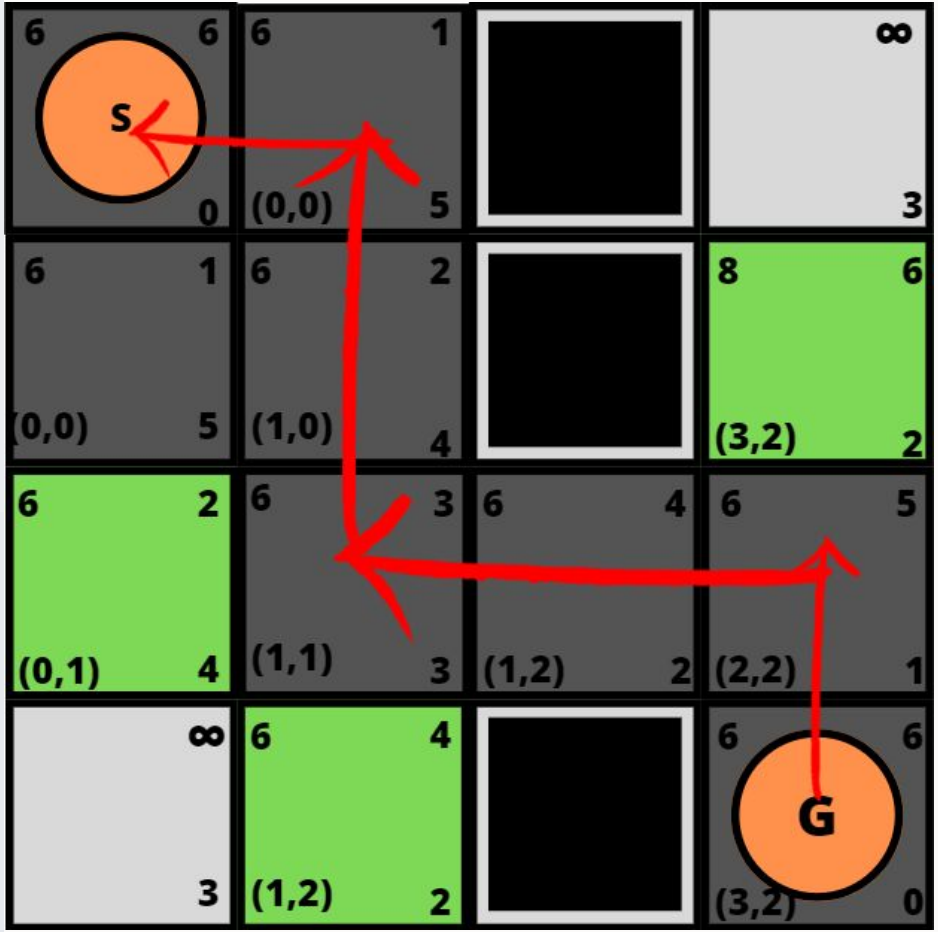
1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



1. **for each** $s \in \mathcal{S}$ **do** $g(s) \leftarrow \infty$
2. $Open \leftarrow \{s_0\}$
3. $g(s_0) \leftarrow 0;\ f(s_0) \leftarrow h(s_0)$
4. **while** $Open \neq \emptyset$
5. Extrae un u desde $Open$ con menor valor-f
6. **if** u es objetivo **return** u
7. **for each** $v \in Succ(u)$ **do**
    1. $cost_v = g(u) + c(u, v)$
    2. **if** $cost_v \geq g(v)$ **return**
    3. $parent(v) \leftarrow u$
    4. $g(v) \leftarrow cost_v$
    5. $f(v) \leftarrow g(v) + h(v)$
    6. **if** $v \in Open$ **then** Reordenar $Open$
    7. **else** Insertar v en $Open$



Otro ejemplo de A* - Computerphile - Youtube

A (A Star) Search Algorithm*

¿Por qué A* es óptimo? - Youtube

¿Por qué A es óptimo? - YouTube*

Ayudantía 5

Heurísticas y A*

Por Daniel Toribio y Felipe Espinoza

22 de abril 2024