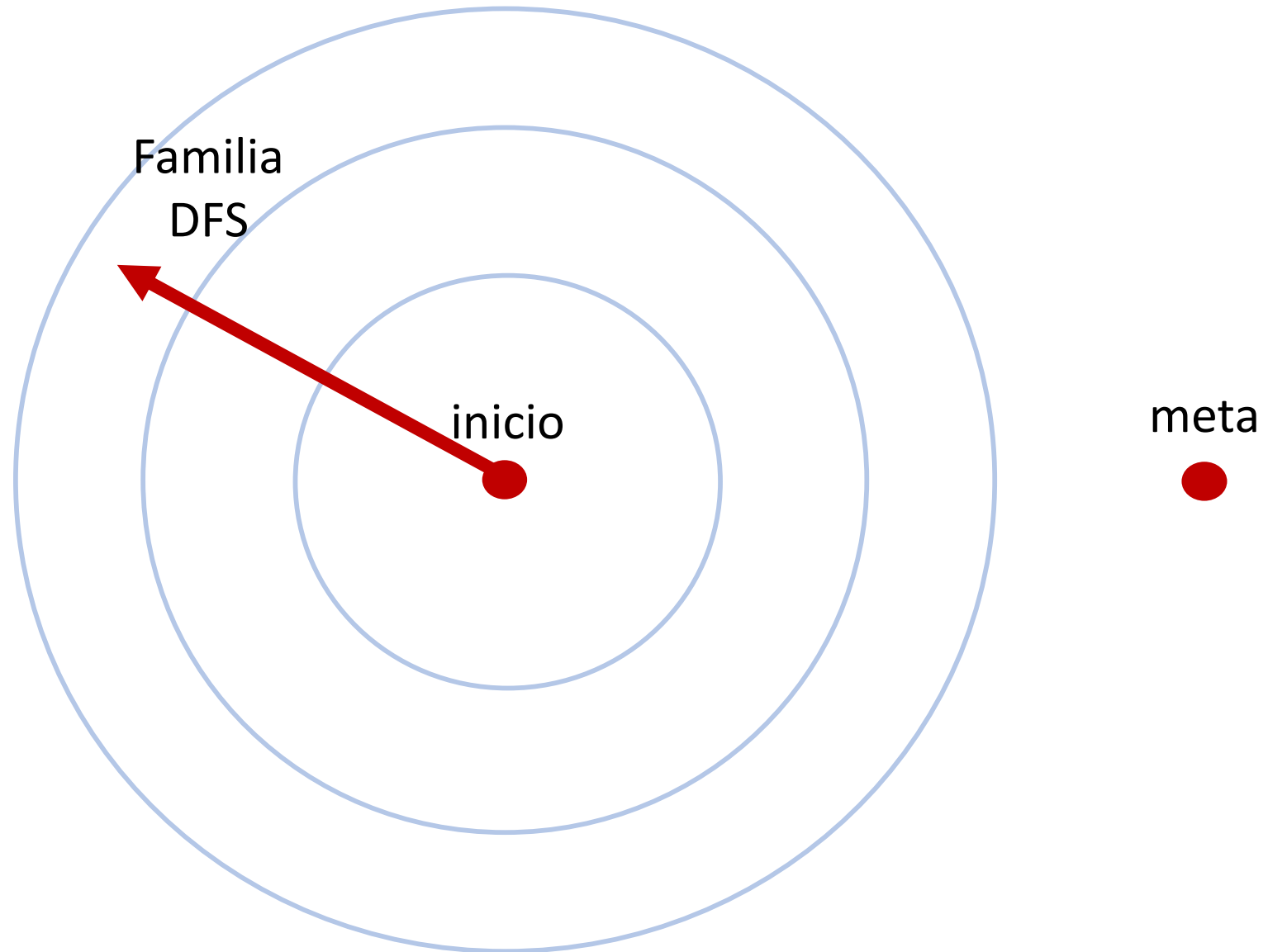


Búsqueda informada

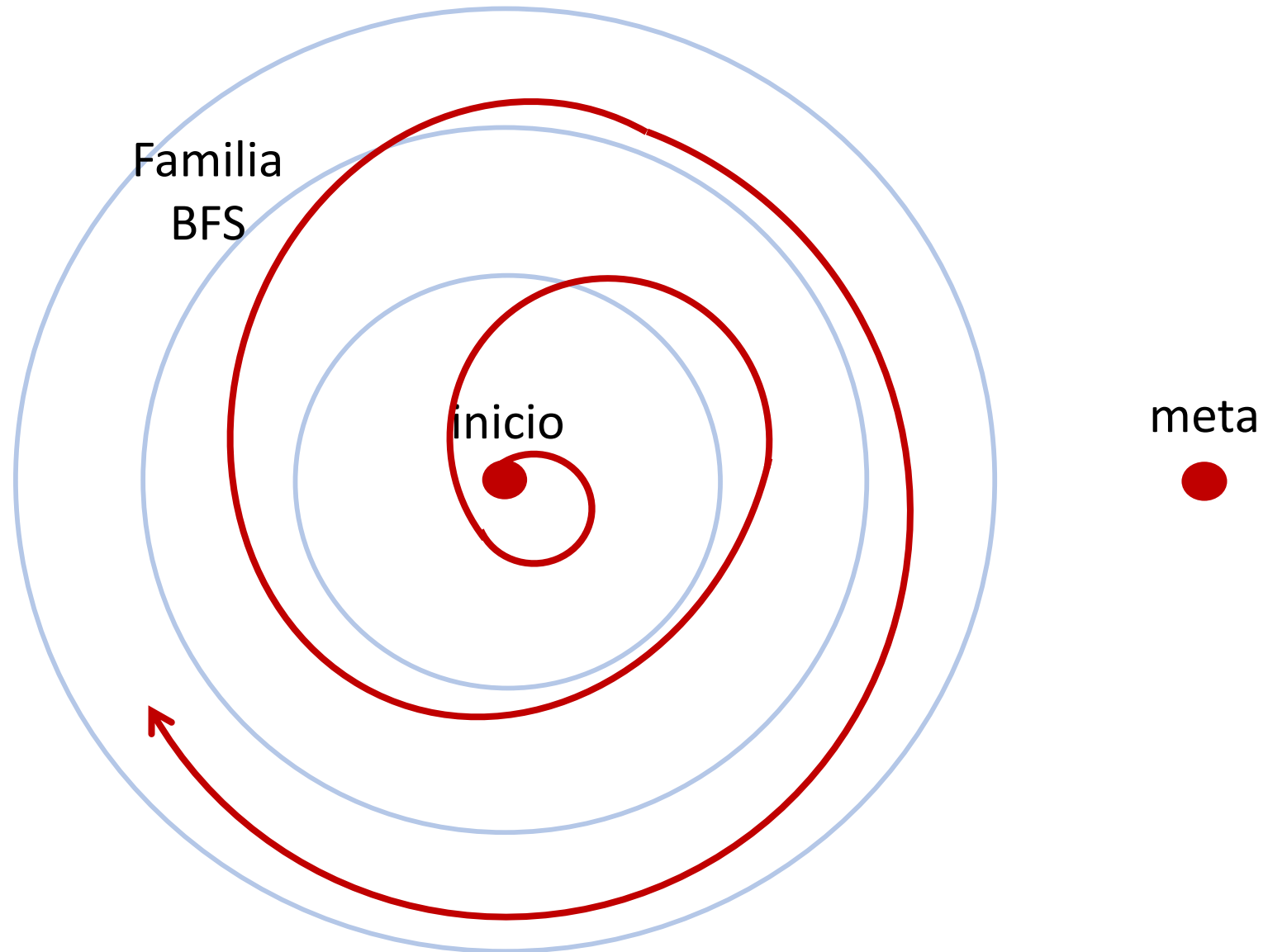
# Búsqueda informada

- Estos algoritmos utilizan información del dominio del problema para guiar la búsqueda durante la exploración.
- Utilizan una función heurística: un “sesgo” en el espacio de estados que oriente al agente en la dirección del objetivo o la meta.

# Búsqueda no informada

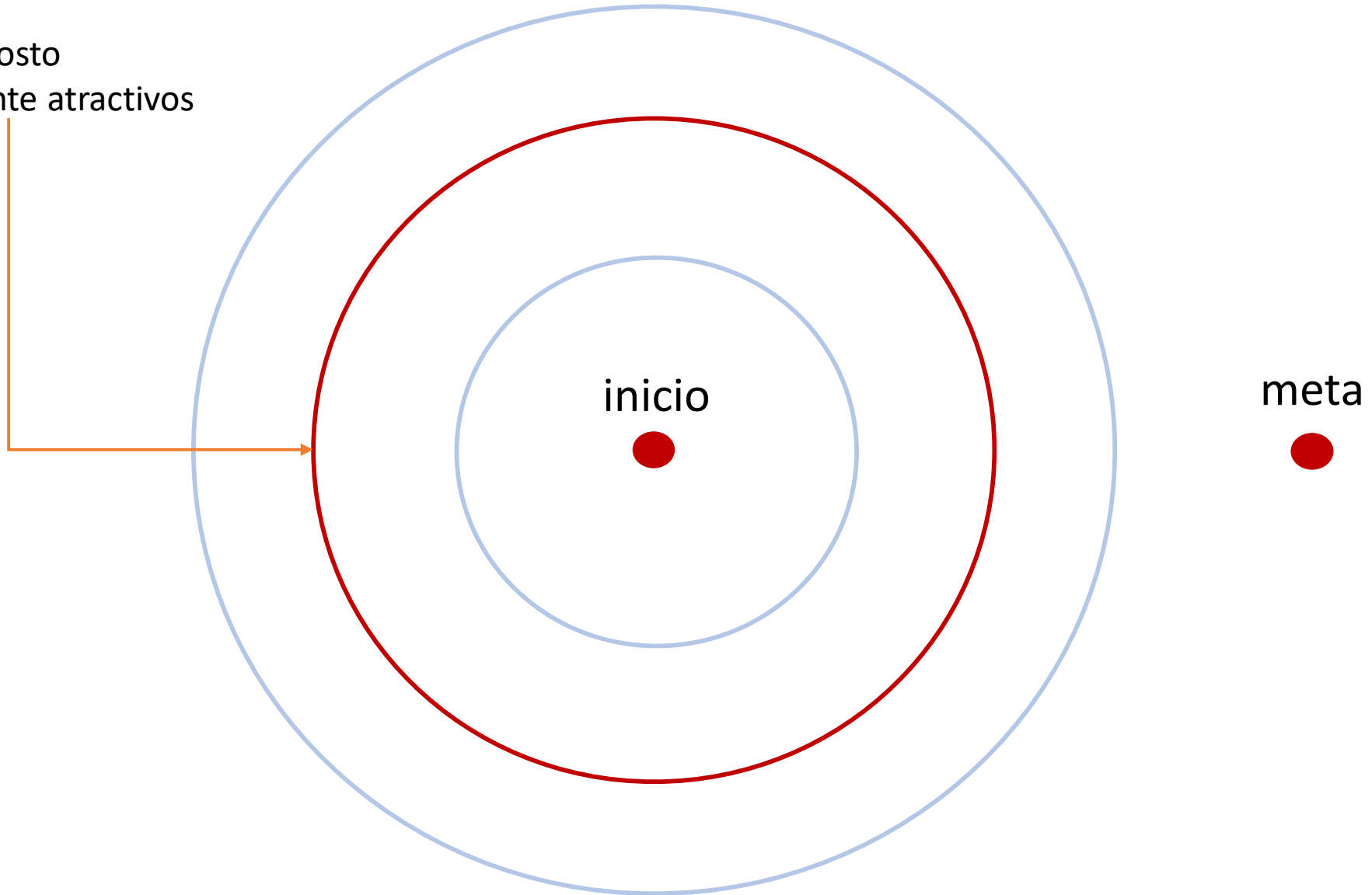


# Búsqueda no informada

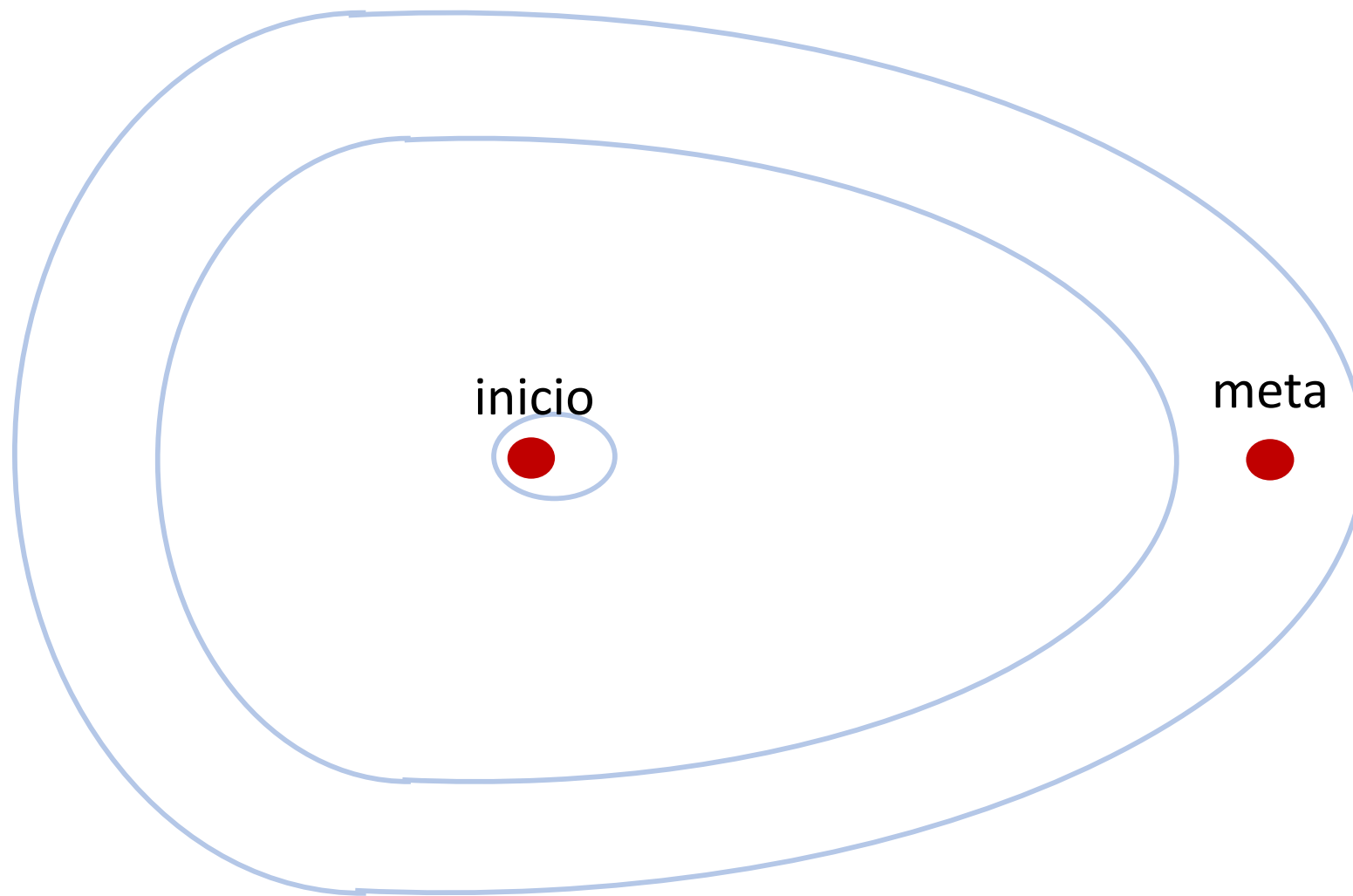


# Búsqueda no informada

Mismo costo  
Igualmente atractivos



Las curvas anisotrópicas ilustran el tipo de sesgo que se pretende lograr con los algoritmos de búsqueda informada.



# Búsqueda informada

- Las curvas simbolizan la suma de dos cantidades:
  1. Distancia desde el nodo inicial al punto.
  2. Producto de un escalar por la distancia al nodo meta.
    - Este producto está simulando lo que haría la heurística, es decir, una estimación de lo falta por recorrer.
- Mejores aproximaciones crean sesgos más pronunciados.
  - Estos son mejores para los algoritmos, pues los llevan más rápido a la meta y consumen menos recursos computacionales.

# Búsqueda informada

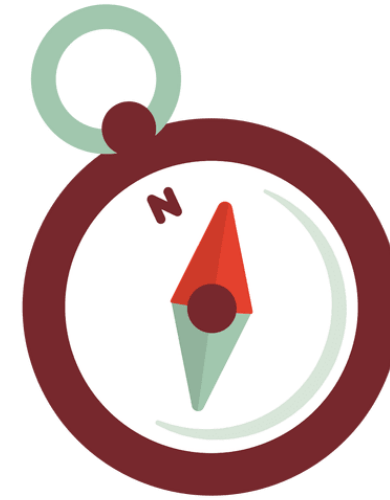
- Las heurísticas deben ser **criterios simples** para discriminar correctamente entre elecciones buenas y malas.
- Para nosotros (humanos), esto puede entenderse como “el sentido común”, “las buenas prácticas”, etc.



## Ejemplos heurística



Distancia en línea recta





A

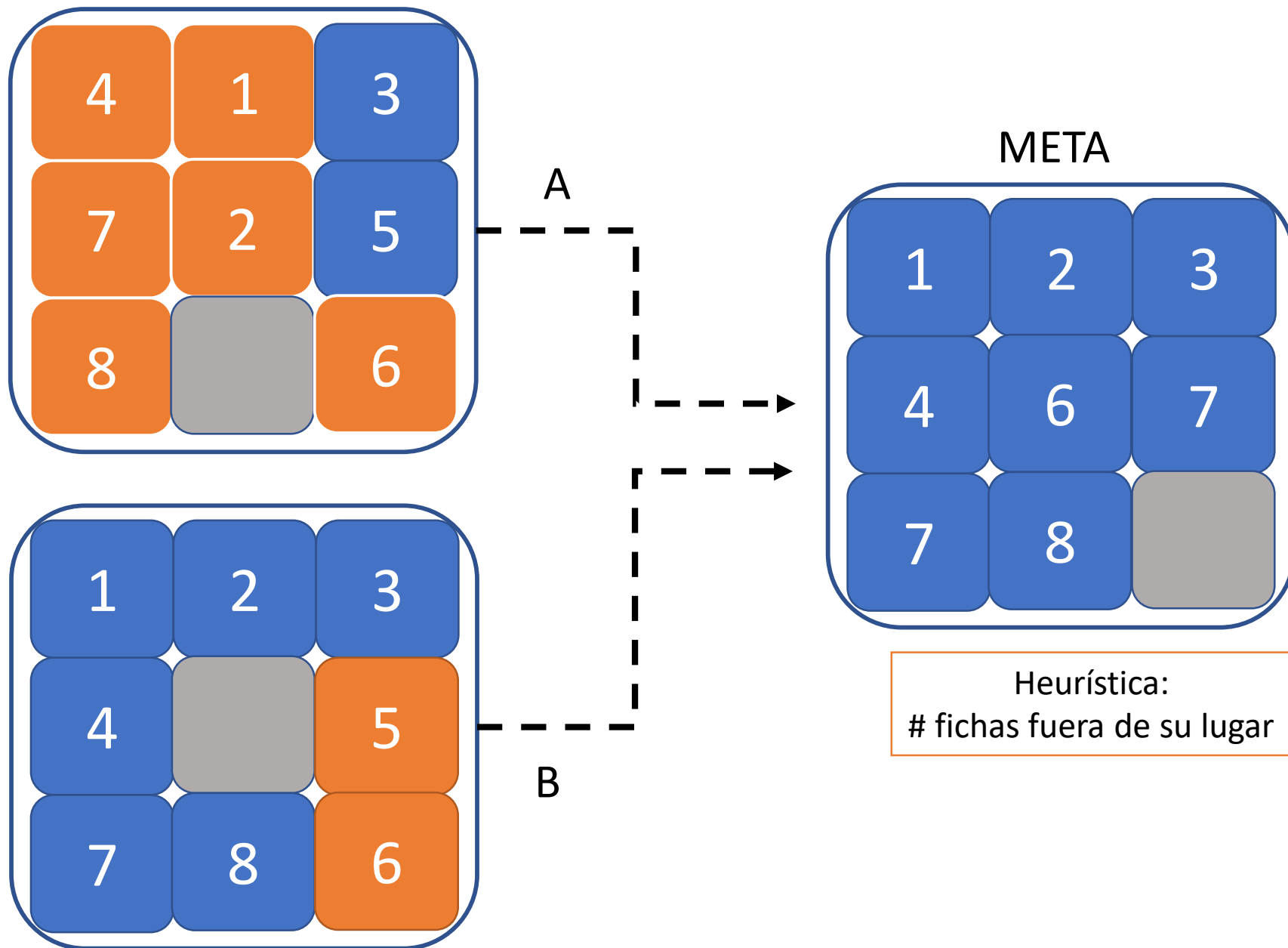


B

META



B es mejor que A



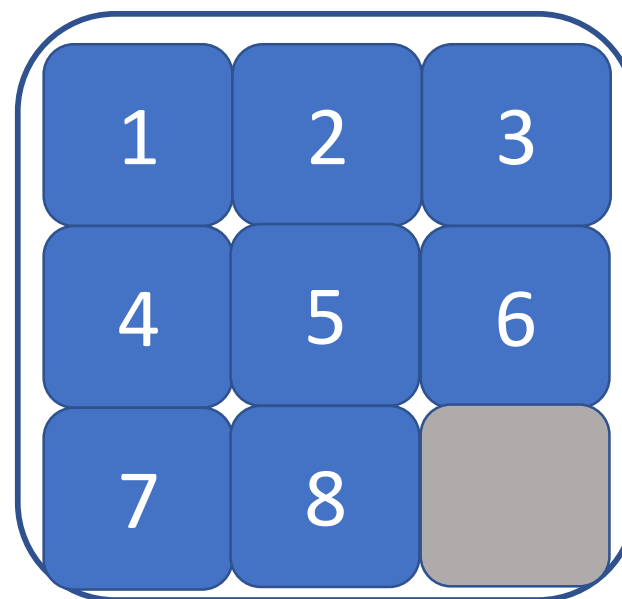
# Búsqueda A\*

- Algoritmo propuesto en 1968 por investigadores de Stanford (Robot Shakey).
- De los más utilizados para encontrar rutas en grafos pesados.
- Modificación del algoritmo de costo uniforme, UCS.
  - Se añade la función heurística ( $h$ ).
  - Si  $g(n)$  es el costo acumulado desde el nodo origen,
$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Inicial



Meta



$$h(n) = \# \text{ de piezas fuera de lugar}$$

Agenda



A

Sacamos a A de  
la agenda.

Expandidos  
[A]

Agenda



A

$$\begin{aligned} g(n) &= 1 \\ h(B) &= 4 \\ h(C) &= 5 \\ h(D) &= 6 \end{aligned}$$

Expandidos  
[A]



$B_A^{1+4}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$

Agenda



$A$

Expandidos  
[A B E]



$B_A^{1+4}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$



$E_B^{2+3}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$



## Agenda



$A$



$B_A^{1+4}$



$E_B^{2+3}$



$F_E^{3+2}$



$C_A^{1+5}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$



$D_A^{1+6}$



$G_E^{3+4}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$

Expandidos  
[A B E]

# Agenda

$A$

$B_A^{1+4}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$



$E_B^{2+3}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$



$F_E^{3+2}$

$G_E^{3+4}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$



$H_F^{4+3}$

$I_F^{4+1}$

$J_F^{4+3}$

$G_E^{3+4}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$

Expandidos  
[A B E F]

# Agenda

A

$B_A^{1+4}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$

$E_B^{2+3}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$

$F_E^{3+2}$

$G_E^{3+4}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$

# Expandidos

[A B E F I]



$H_F^{4+3}$



$I_F^{4+1}$



$J_F^{4+3}$



$G_E^{3+4}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$



$K_I^{5+0}$



$L_I^{5+2}$



$H_F^{4+3}$



$J_F^{4+3}$



$G_E^{3+4}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$

# Agenda

A

$B_A^{1+4}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$

$E_B^{2+3}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$

$F_E^{3+2}$

$G_E^{3+4}$

$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$



$H_F^{4+3}$



$I_F^{4+1}$



$J_F^{4+3}$



$G_E^{3+4}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$



$K_I^{5+0}$



$L_I^{5+2}$



$H_F^{4+3}$



$J_F^{4+3}$



$G_E^{3+4}$



$C_A^{1+5}$



$D_A^{1+6}$

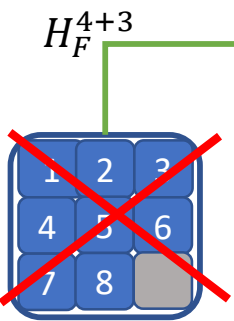
Expandidos  
[A B E F I K]

## Agenda

$A$   
 $B_A^{1+4}$   $C_A^{1+5}$   $D_A^{1+6}$   
 $E_B^{2+3}$   $C_A^{1+5}$   $D_A^{1+6}$   
 $F_E^{3+2}$   $G_E^{3+4}$   $C_A^{1+5}$

Expandidos  
[A B E F I K]

Ruta: A B E F I K



$K_I^{5+0}$

$L_I^{5+2}$

$H_F^{4+3}$

$J_F^{4+3}$

$G_E^{3+4}$

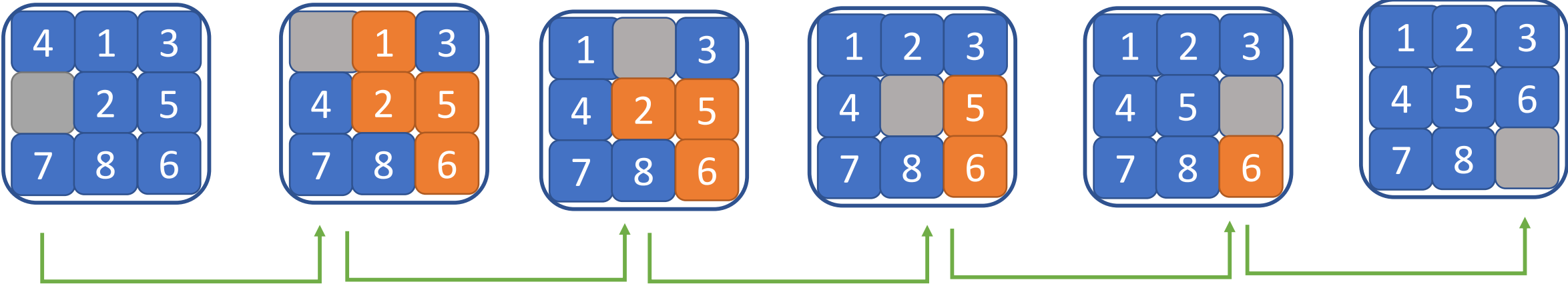
$C_A^{1+5}$

$D_A^{1+6}$

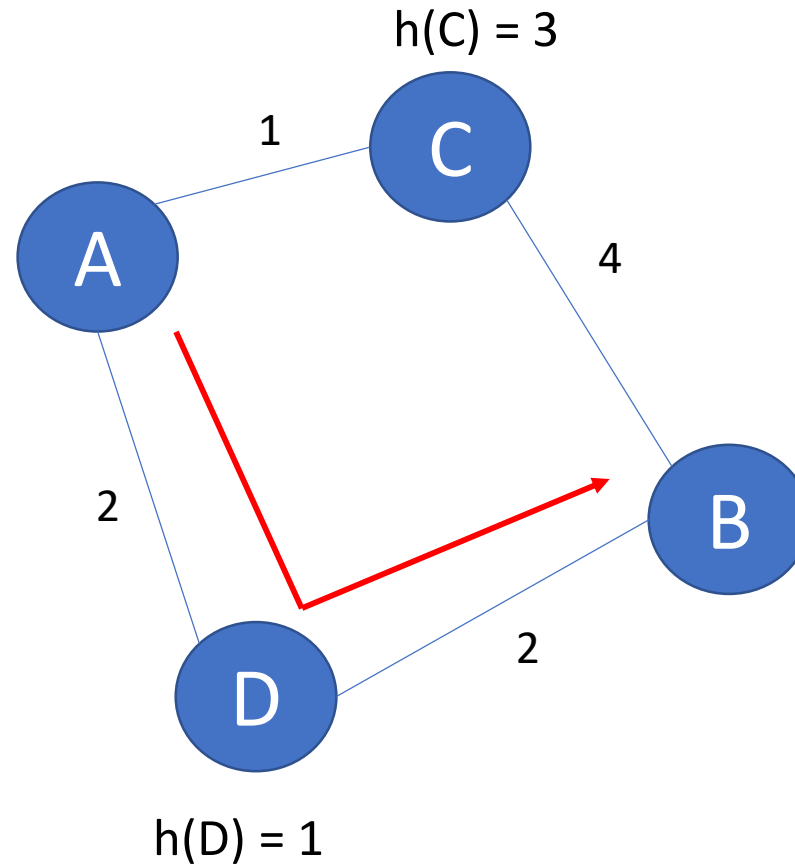
Expandidos  
[A B E F I K]

Ruta: A B E F I K

Agenda



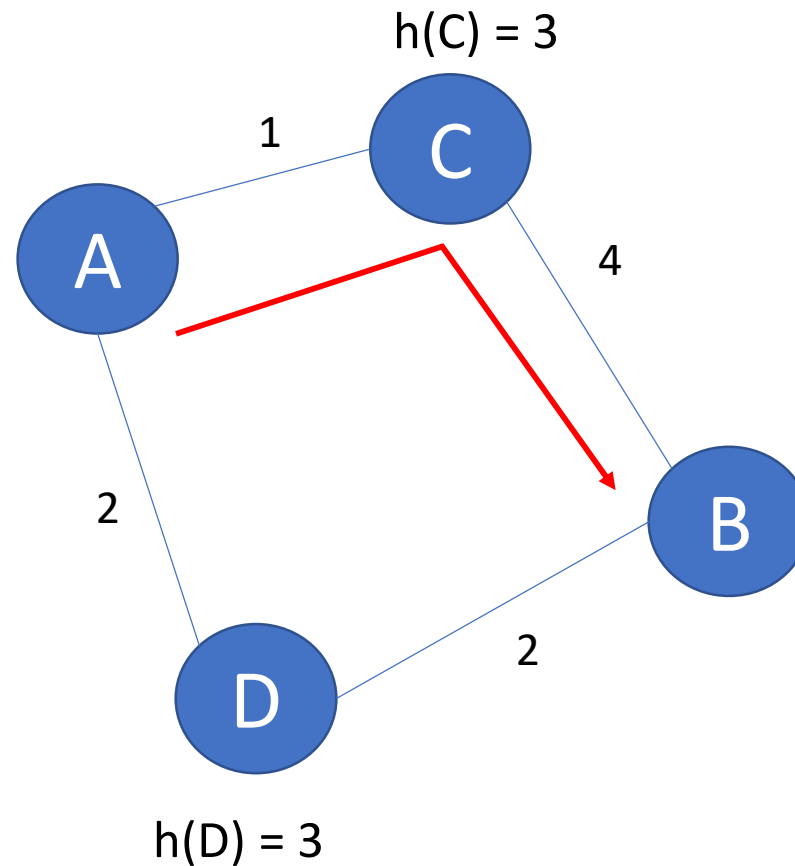
# Admisibilidad



La heurística no sobreestima el valor real del costo mínimo de un estado a la meta.

$$f(C) > f(D)$$

# Admisibilidad

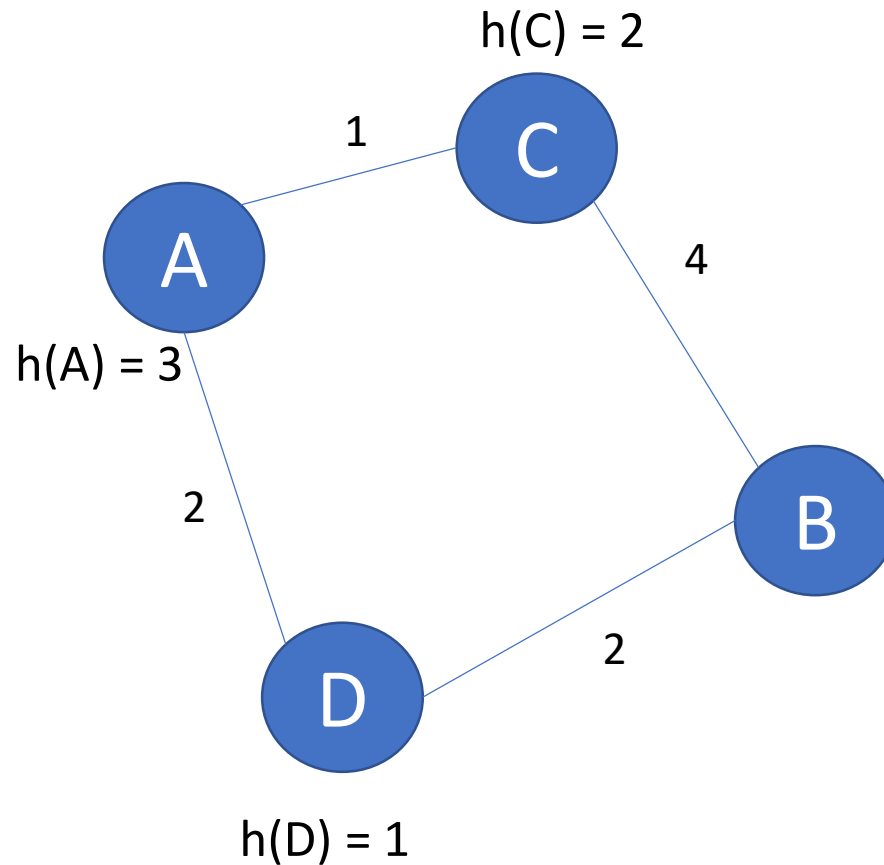


Con una heurística no admisible, el agente puede tomar una ruta más larga.

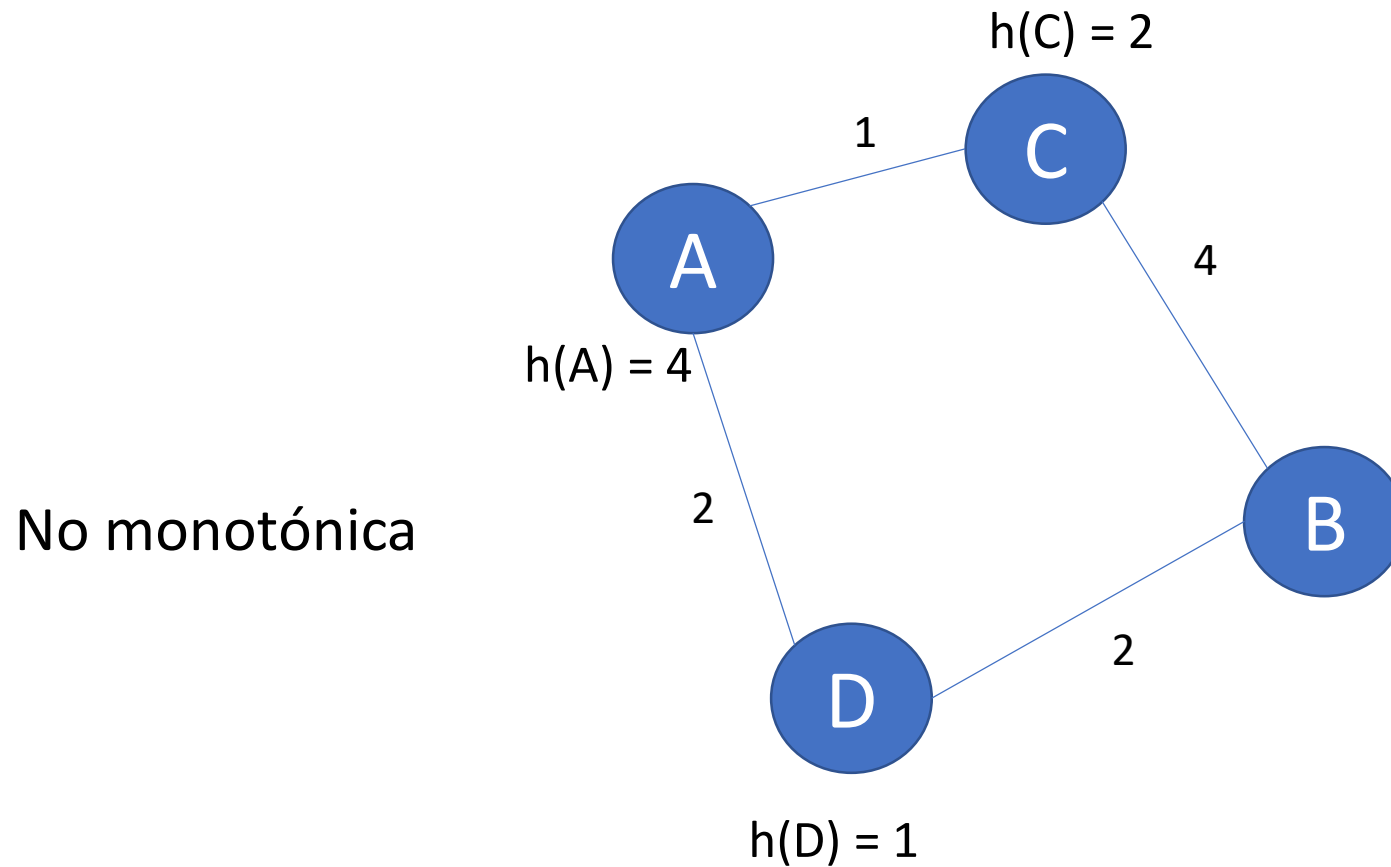


# Monotonicidad o consistencia

$$h(n) \leq c(n, m) + h(m)$$



# Monotonicidad o consistencia



# Búsqueda A\*

## Entradas:

$s_0$ : Estado Inicial

parar: Función de paro

c: Función de costo

h: Función heurística

Si  $h(n) = 0$  para todo  $n \rightarrow$  UCS

Si  $g(n) = 0$  para todo  $n \rightarrow$  GBFS

```
If parar( $s_0$ ):  
    return ruta( $s_0$ )  
 $g(s_0) \leftarrow 0$   
agenda.agregar( $s_0$ )  
While |agenda| > 0:  
     $n \leftarrow$  agenda.sacar()  
    if parar( $n$ ):  
        return ruta( $n$ )  
    for each m in expandir( $n$ ):  
         $g(m) \leftarrow g(n) + c(n, m)$   
        if m not in expandidos:  
             $f(m) \leftarrow g(m) + h(m)$   
            agenda.agregar(m)
```

# Sobre las heurísticas

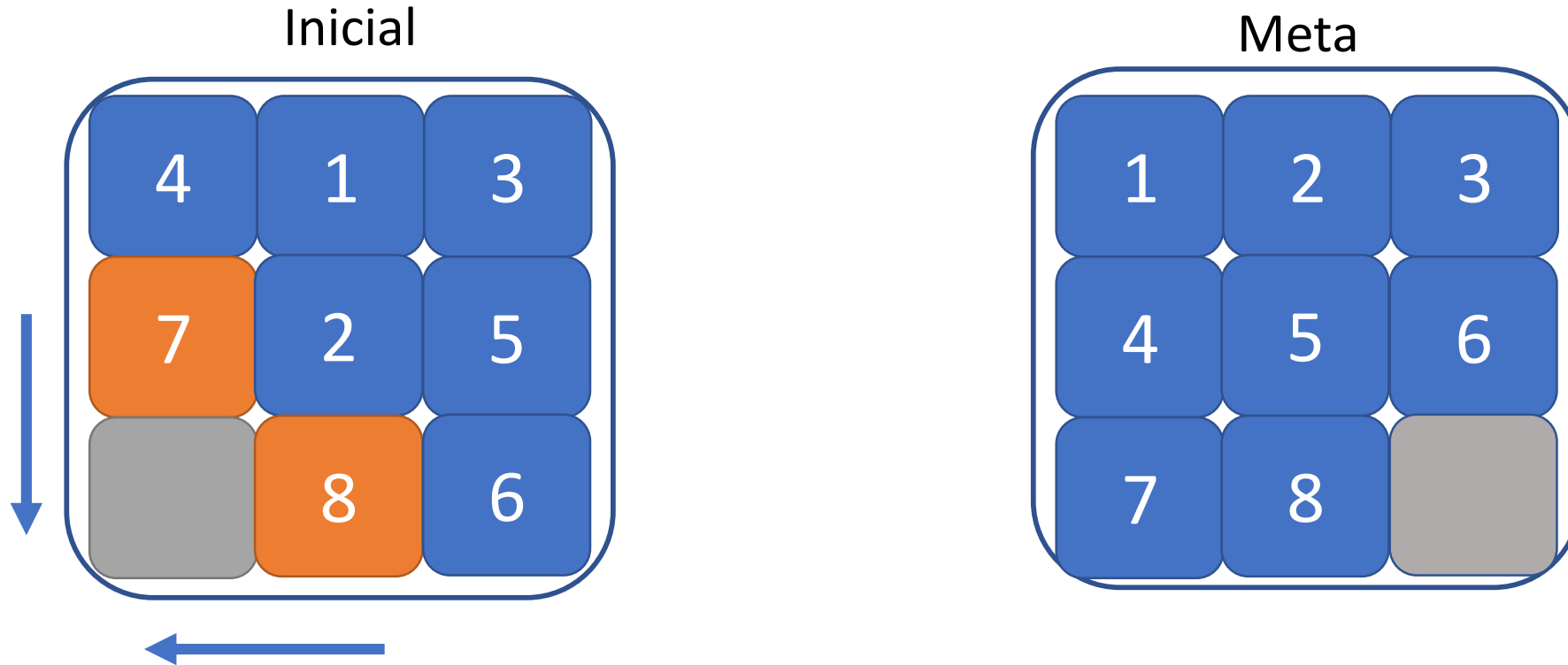
- La calidad de la heurística define a la calidad de la solución.
  - En términos de recursos computacionales.
- Se pueden proponer una heurística al quitar restricciones del problema.
  - Suponer que el agente puede realizar acciones que estaban restringidas en el problema original.
  - Estimar el costo a la meta a partir de estas acciones.



- Restricción: moverse únicamente por las vías
- Sin restricción: agente puede moverse en línea recta
  - Fácil de calcular
  - Consistente y admisible

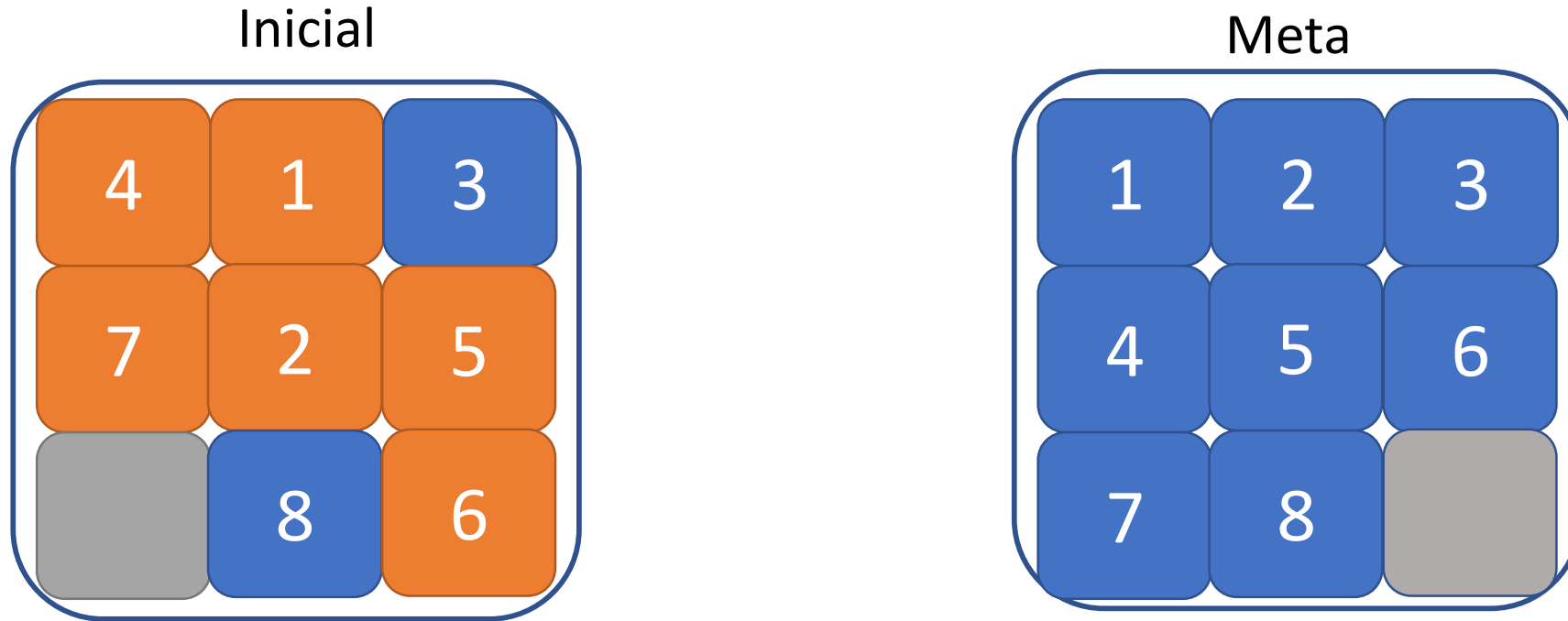
Distancia en línea recta

# Heurística: Distancia de Manhattan



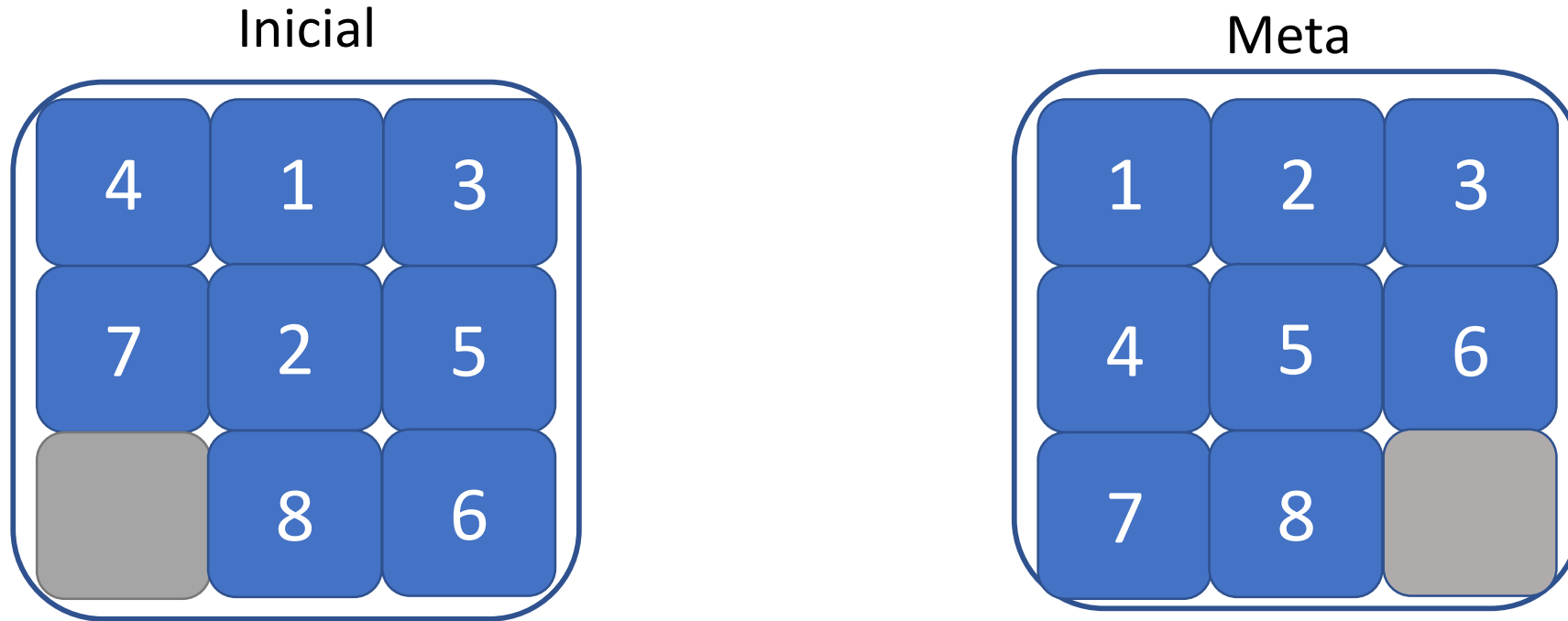
Las restricciones del juego solo permiten mover las fichas 7 u 8 en el estado inicial

# Heurística: Distancia de Manhattan



Quitando la restricción, las fichas fuera de lugar  
Pueden moverse vertical u horizontalmente.

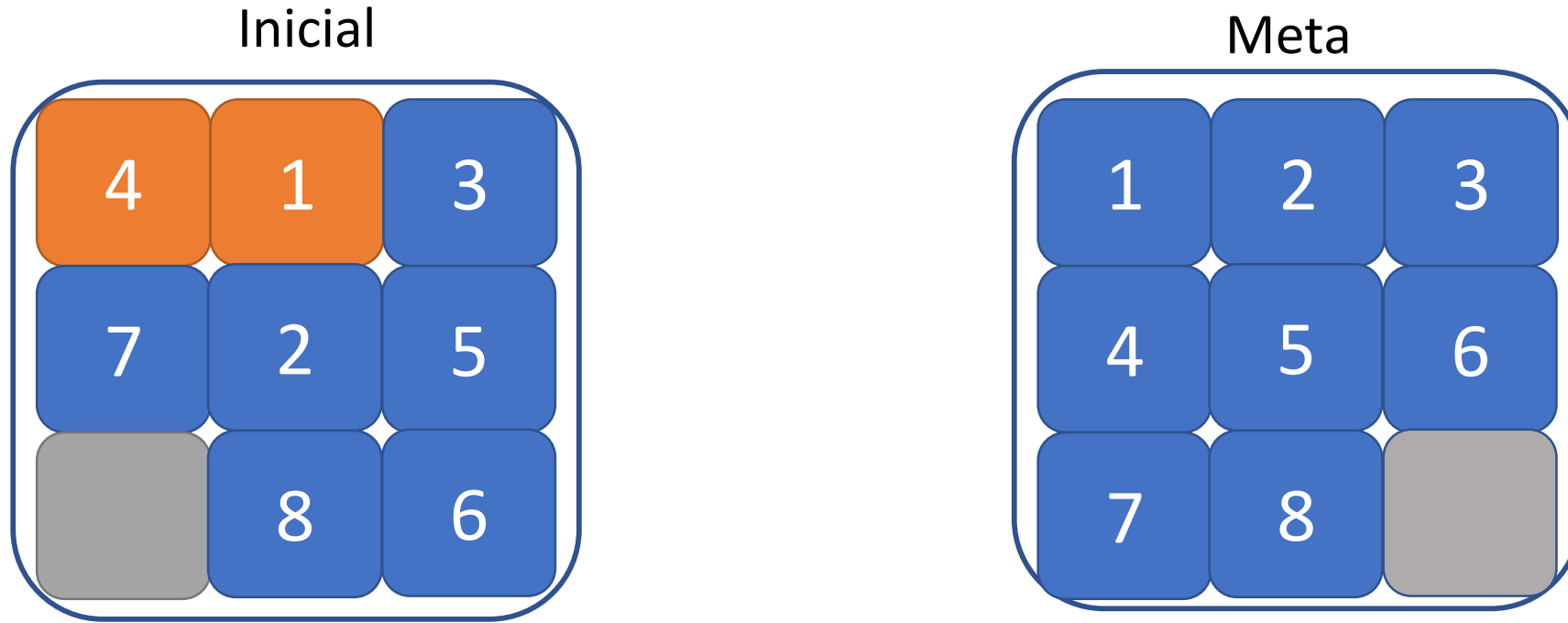
# Heurística: Distancia de Manhattan



Se puede usar como heurística el número de movimientos (sin restricción) necesarios para llegar a la meta.



# Heurística: Distancia de Manhattan



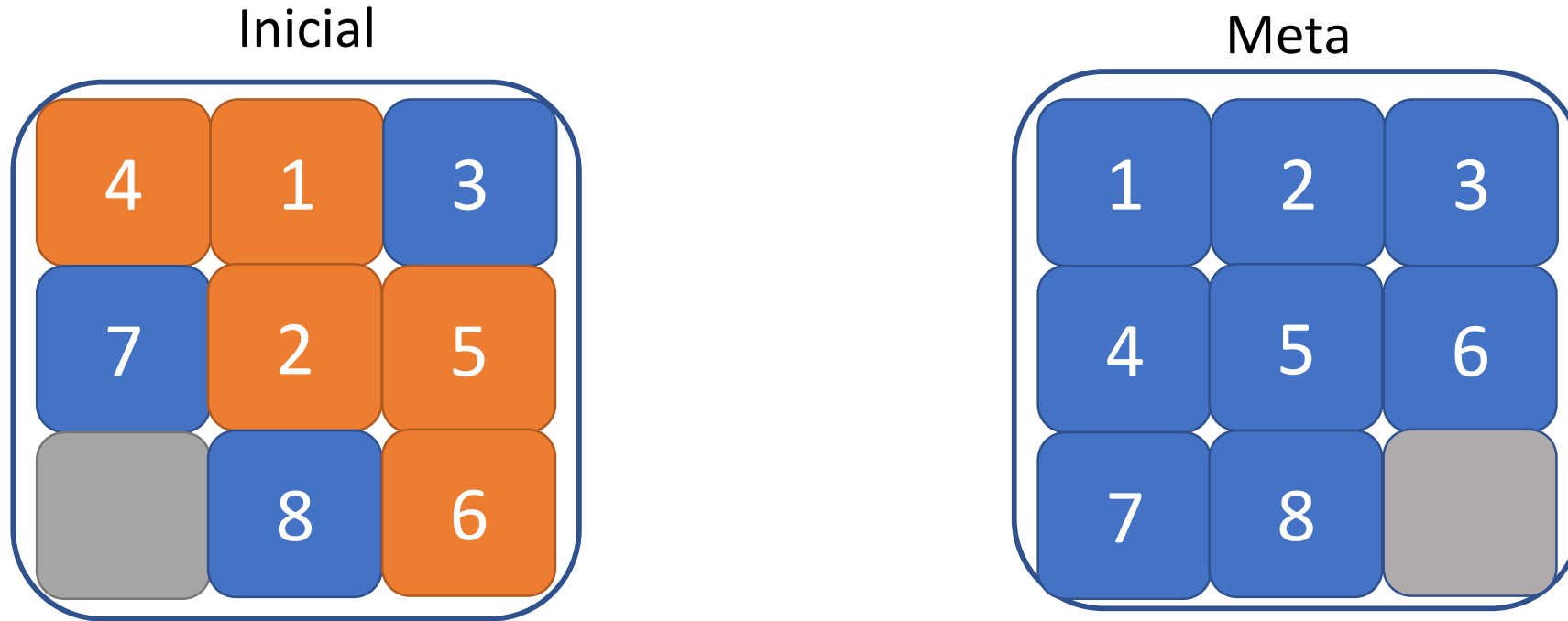
Distancia que considera movimientos únicamente horizontales y verticales.

# movimientos(4) = 1

# movimientos(1) = 1

$$D_{Manhattan}(Inicial, Meta) = 1 + 1 + \dots$$

# Heurística: Distancia de Manhattan



$$D_{Manhattan}(Inicial, Meta) = 6$$

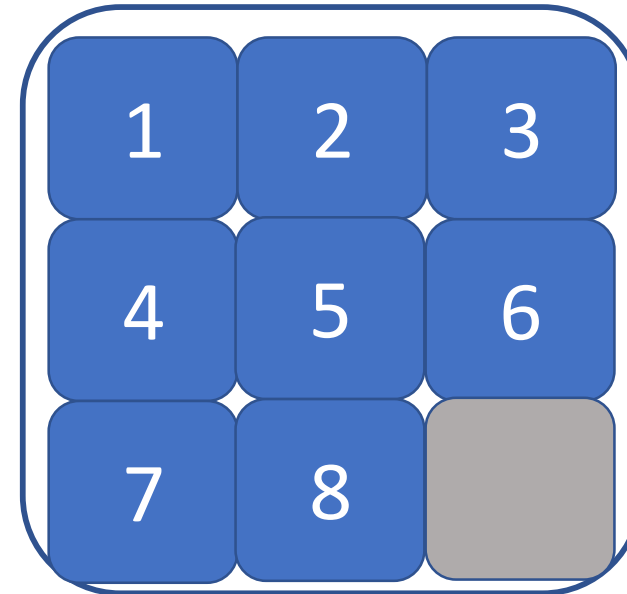
Esta distancia es consistente y se puede calcular eficientemente.  
Pero más costosa que calcular el # de fichas fuera de lugar.

# Heurística: Distancia de Manhattan

Inicial

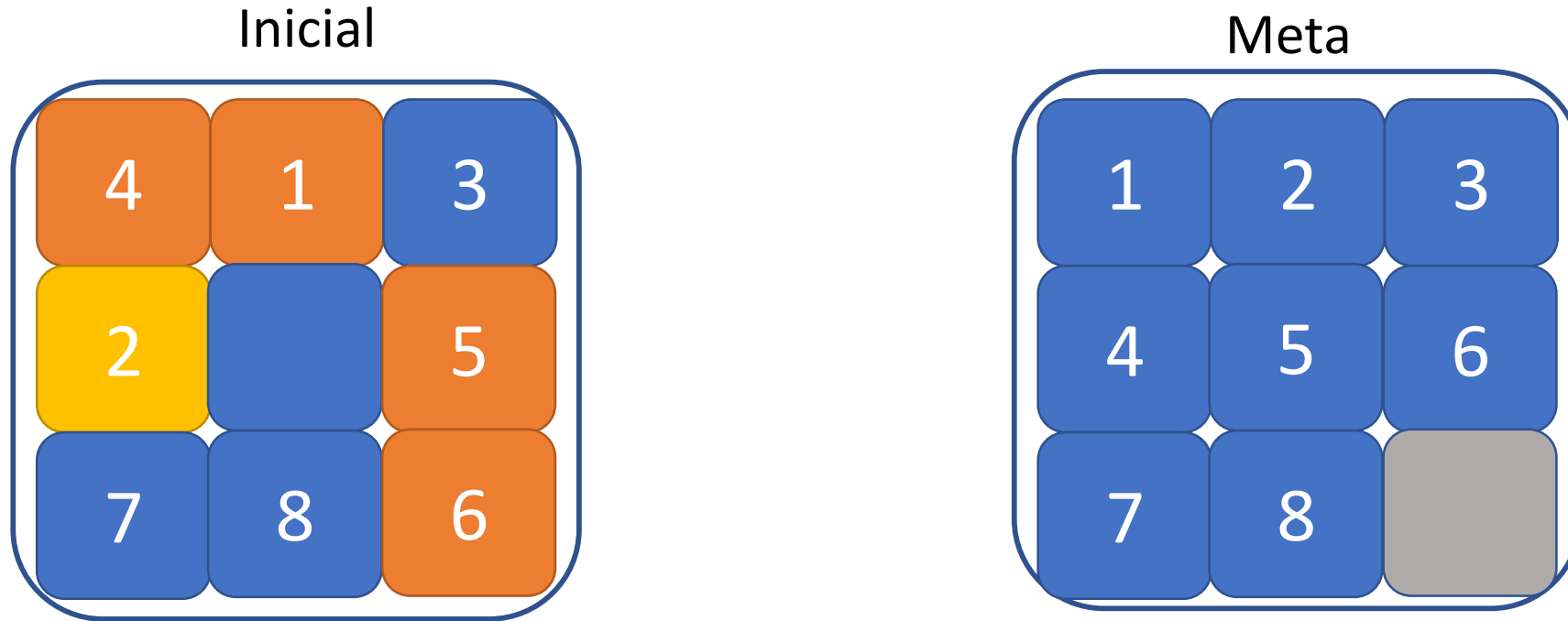


Meta



# fichas fuera de lugar:  $h_1$   
Distancia de Manhattan:  $h_2$

# Heurística: Distancia de Manhattan

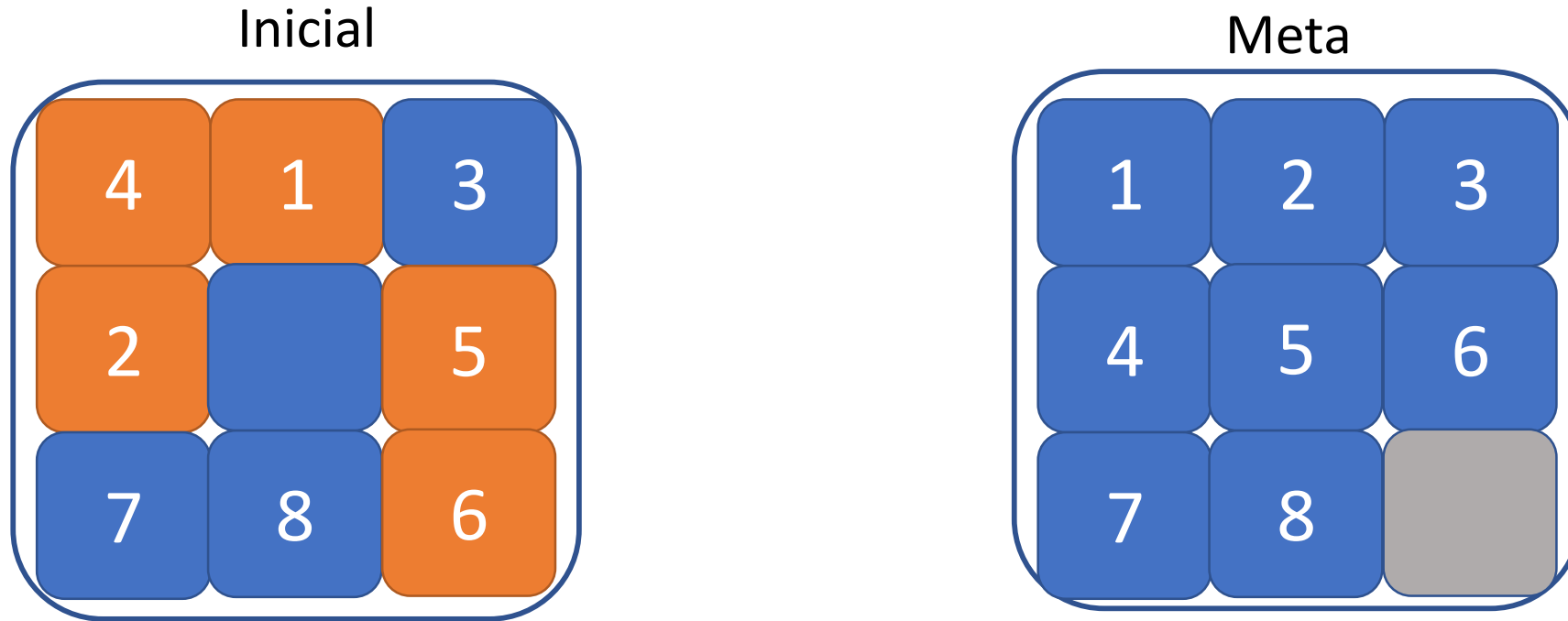


$$h_1(\text{Inicial}, \text{Meta}) = 1 + 1 + \mathbf{1} + 1 + 1 = 5$$

$$h_2(\text{Inicial}, \text{Meta}) = 1 + 1 + \mathbf{2} + 1 + 1 = 6$$

¿Cuál es mejor?

# Heurística: Distancia de Manhattan



Si se tienen  $n$  heurísticas admisibles (no superan el costo real de llegar a la meta):

$$h(s) = \max\{h_1(s), h_2(s), \dots, h_n(s)\}$$

En este ejemplo, siempre  $h_2 > h_1$   
Por lo tanto, utilizamos la distancia de Manhattan

# Métricas de distancias (en general)

- Distancia Euclidiana
- Distancia Manhattan
- Distancia Chebyshev
- Distancia Kullback-Leibler