

Distance Vector

Area de Ingeniería Telemática
<http://www.tlm.unavarra.es>

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios

Vector de distancias

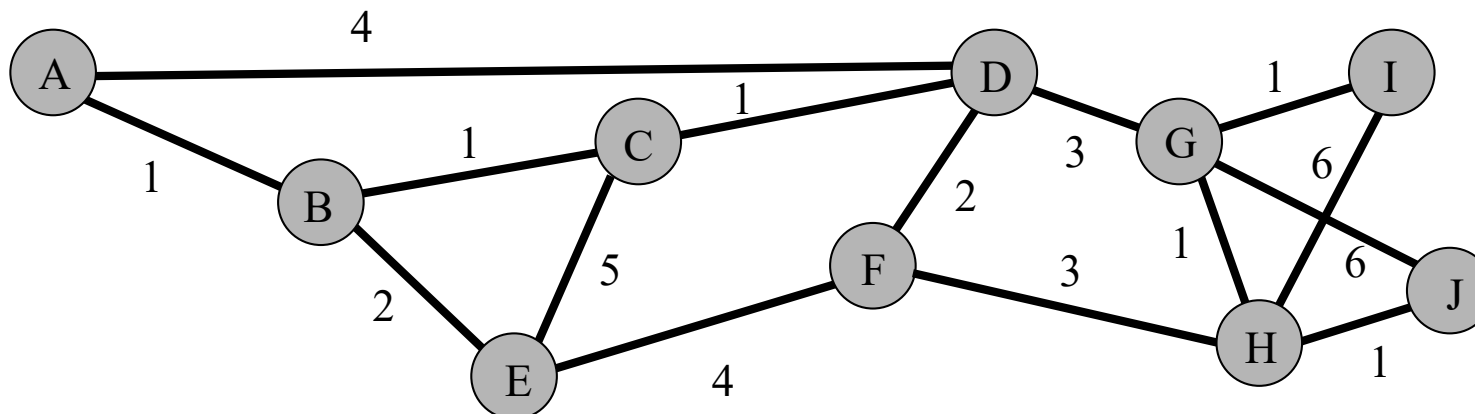
Distance vector

- Cada nodo mantiene un “vector de distancias”
- Ese vector contiene el “coste” o “distancia” para llegar a cada destino
- También cuál es el siguiente salto para llegar a ese destino
- Van a compartir esas distancias con los vecinos y van a modificar los vectores a medida que con la información de los vecinos “aprendan” mejores caminos

$$D_i = \begin{bmatrix} d_{i1} \\ \vdots \\ \vdots \\ d_{iN} \end{bmatrix}$$

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{i1} \\ \vdots \\ \vdots \\ s_{iN} \end{bmatrix}$$

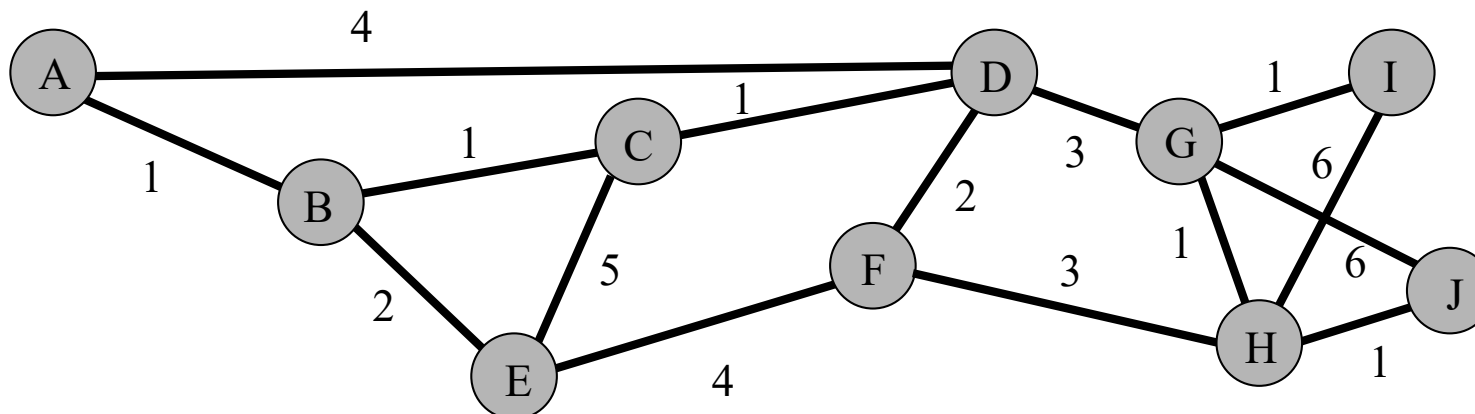
Esto no necesitamos
compartirlo con los
vecinos



Idea general

- Al principio cada nodo sabe llegar solo a sus vecinos con el coste del enlace directo
- Al recibir esa información de su vecino puede aprender un camino mejor
- Ejemplo:
 - Inicialmente, D_B y D_E

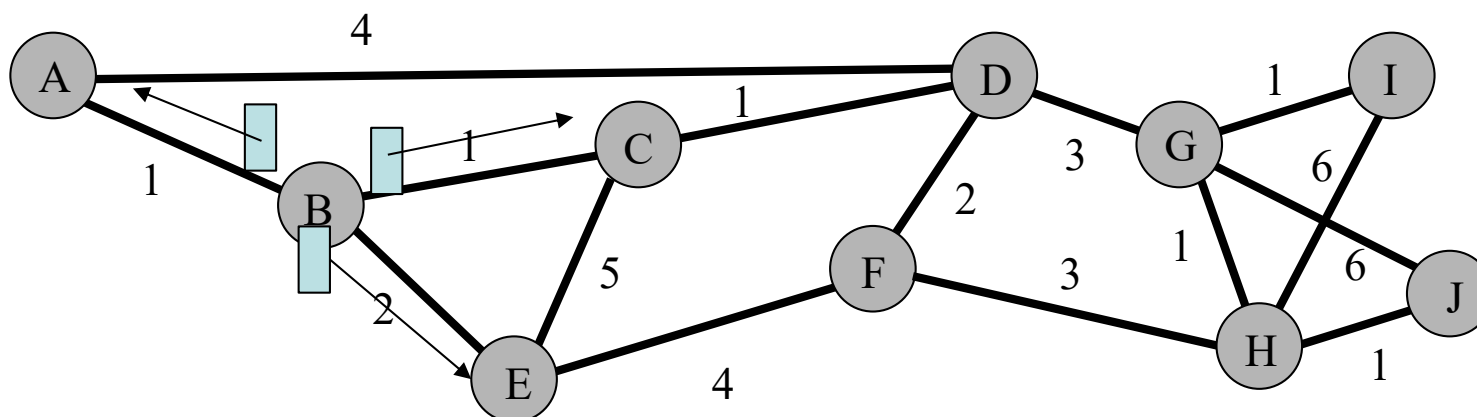
$$D_B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ \infty \\ 2 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix} \quad D_E = \begin{bmatrix} \infty \\ 2 \\ 5 \\ \infty \\ 0 \\ 4 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix}$$



Idea general

- Al principio cada nodo sabe llegar solo a sus vecinos con el coste del enlace directo
- Al recibir esa información de su vecino puede aprender un camino mejor
- Ejemplo:
 - Inicialmente, D_B y D_E
 - B envía vector a vecinos

$$D_B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ \infty \\ 2 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix} \quad D_E = \begin{bmatrix} \infty \\ 2 \\ 5 \\ \infty \\ 0 \\ 4 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix}$$

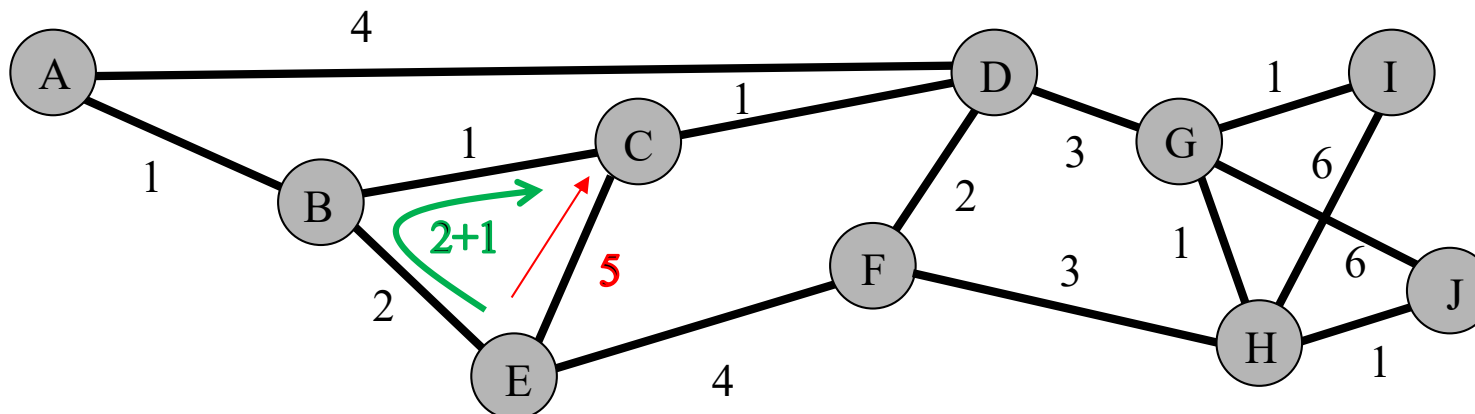


Idea general

- Al principio cada nodo sabe llegar solo a sus vecinos con el coste del enlace directo
- Al recibir esa información de su vecino puede aprender un camino mejor
- Ejemplo:

- Inicialmente, D_B y D_E
- B envía vector a vecinos
- E encuentra un mejor camino a C

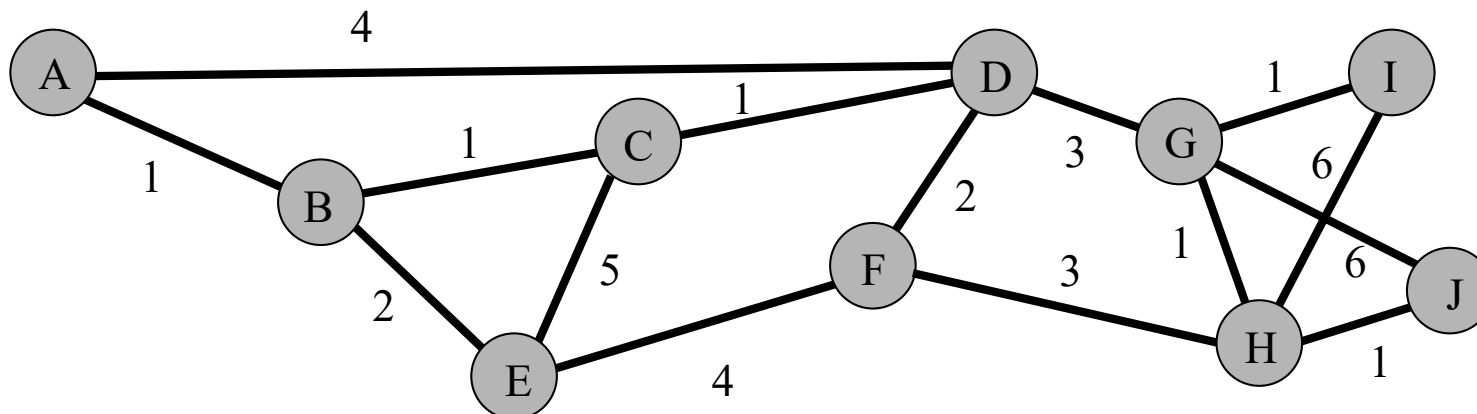
$$D_B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ \infty \\ 2 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix} \quad D_E = \begin{bmatrix} \infty \\ 2 \\ 5 \\ \infty \\ 0 \\ 4 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix} \quad \xrightarrow{\quad} \quad D'_E = \begin{bmatrix} \infty \\ 2 \\ \mathbf{3} \\ \infty \\ 0 \\ 4 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix}$$



Ecuación de Bellman-Ford

- Se compara el coste conocido a un destino con el coste que anuncia un vecino + el coste de ir al vecino
- Se puede resolver de forma centralizada o distribuida
- Distribuida, en protocolos como RIP o IGRP

$$d_{kj} = \min_{i \in N} [d_{ki} + d_{ij}]$$



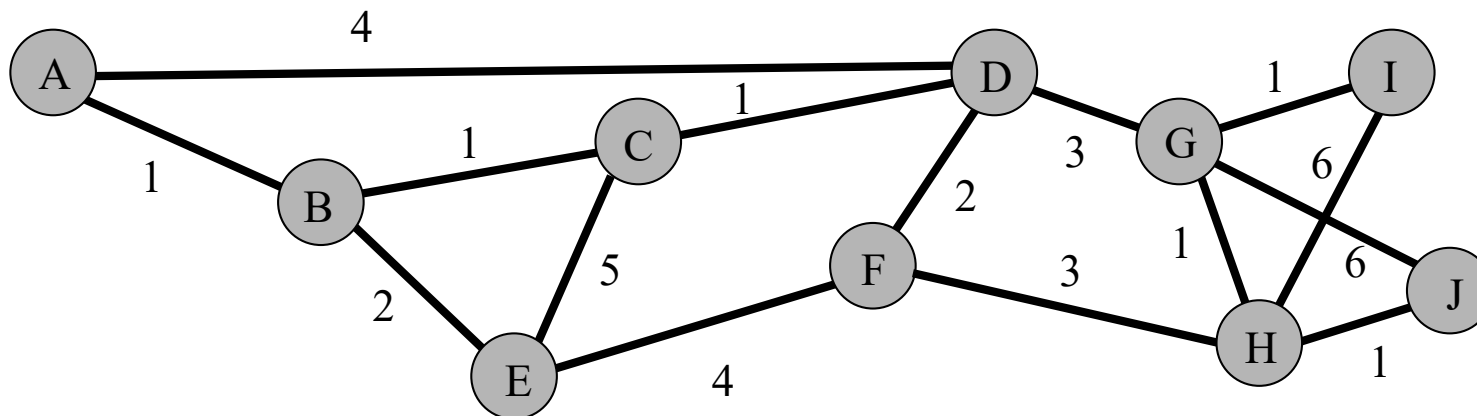
Distance-vector routing

- El vector puede representar mucha información a enviar (según número de redes destino)
- Se debe actualizar ante cambios
 - Se añaden o retiran nodos
 - Se añaden o retiran enlaces
 - Se modifican costes
 - Se aprende un nuevo camino o un nuevo coste
- La información puede tardar en propagarse
- Durante al transitorio hay inestabilidades en los caminos calculados
- La opción sencilla es considerar costes “sumables”, aunque se podría hacer con otras operaciones (por ejemplo “mínimo”)
- No se pre-calculan rutas alternativas
- No se calculan múltiples rutas de igual coste

Bellman-Ford (centralizado)

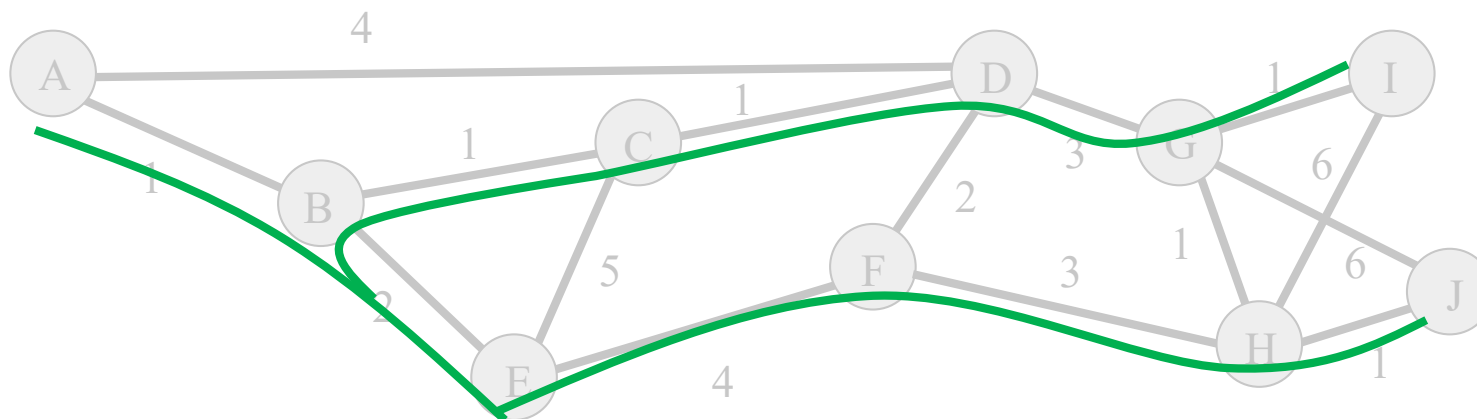
Centralizado

- Suponemos un nodo de control con información completa sobre la red (conoce el grafo)
- Desde cada nodo buscar mejor camino a todos los destinos
- Grafo no dirigido → Caminos simétricos
- Son también los mejores caminos a ese nodo destino
- O lo que sería un árbol con ese nodo como raíz
- Ejemplo:



Árbol

- Suponemos un nodo de control con información completa sobre la red (conoce el grafo)
- Desde cada nodo buscar mejor camino a todos los destinos
- Grafo no dirigido → Caminos simétricos
- Son también los mejores caminos a ese nodo destino
- O lo que sería un árbol con ese nodo como raíz
- Ejemplo:



Bellman-Ford

- Bellman y Ford demostraron que este algoritmo calcula los caminos más cortos (para cada nodo origen)
- s = nodo origen (source)
- N = conjunto total de nodos
- $w(i, j)$ = coste del enlace directo entre nodos i y j . Si no hay enlace directo el coste es ∞ . De un nodo a sí mismo coste 0.
- h = Máximo número de enlaces considerado en esta iteración del algoritmo
- $L_h(n)$ = coste del camino de menor coste desde el nodo s al nodo n pasando por un máximo de h enlaces

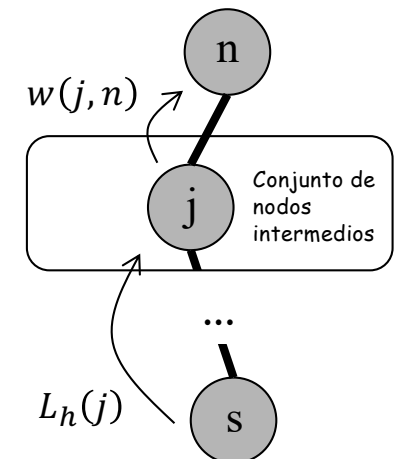
- Inicialización:
$$\begin{cases} L_0(n) = \infty & \forall n \in N, n \neq s \\ L_h(s) = 0 & \forall h = 1, 2, 3 \dots \end{cases}$$

(Con 0 saltos solo se puede llegar a uno mismo)
(A uno mismo siempre coste 0)

- Actualización: Para cada $h = 1, 2, 3 \dots$ y cada $n \neq s$:

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

- Condición de parada: Cuando $\forall n \in N, L_{h+1}(n) = L_h(n)$



Bellman-Ford (ejemplo)

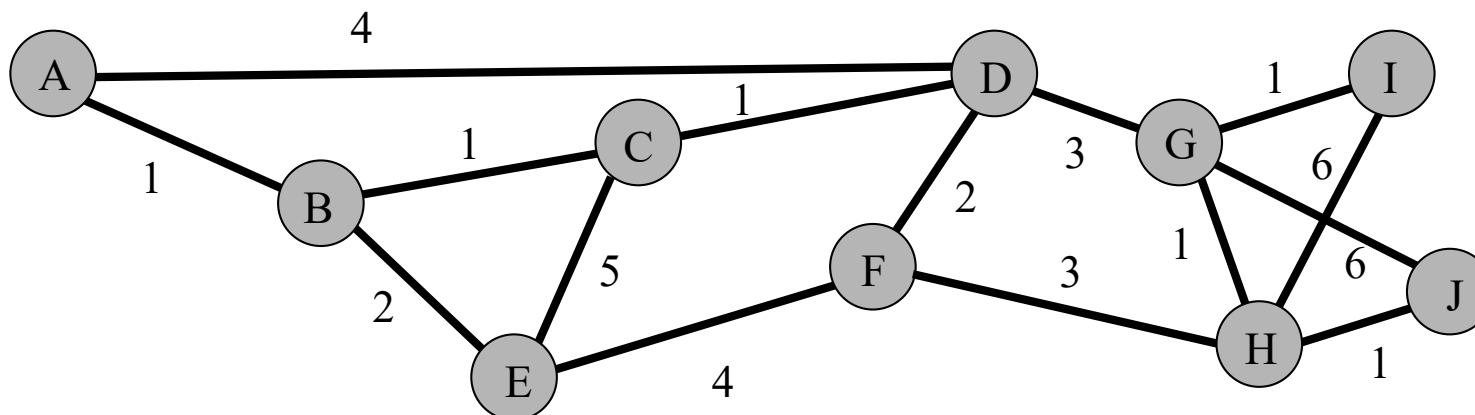
Cálculo mediante tabla

- Índice de la fila es el número de saltos h
- $h = 0$ no se llega a ningún destino distinto del origen

Desde nodo E		Destinos								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞

$$L_0(n) = \infty, \forall n \neq s$$

$$L_h(s) = 0, \forall h$$



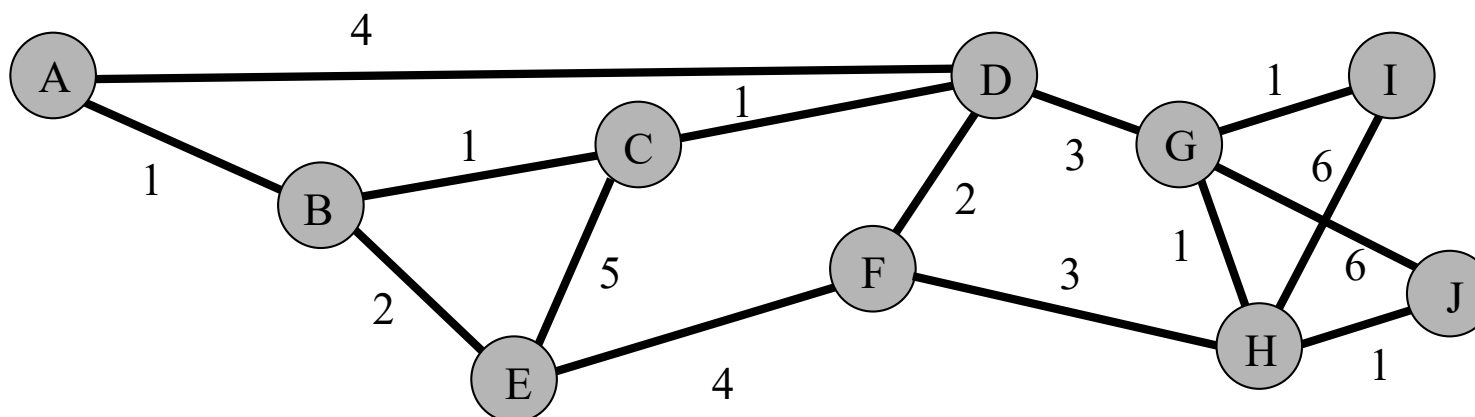
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞									

$$L_1(A) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, A)] = \min[\infty + 0, \infty + 1, \infty + \infty, \infty + 4, 0 + \infty, \infty + 4, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = \infty$$



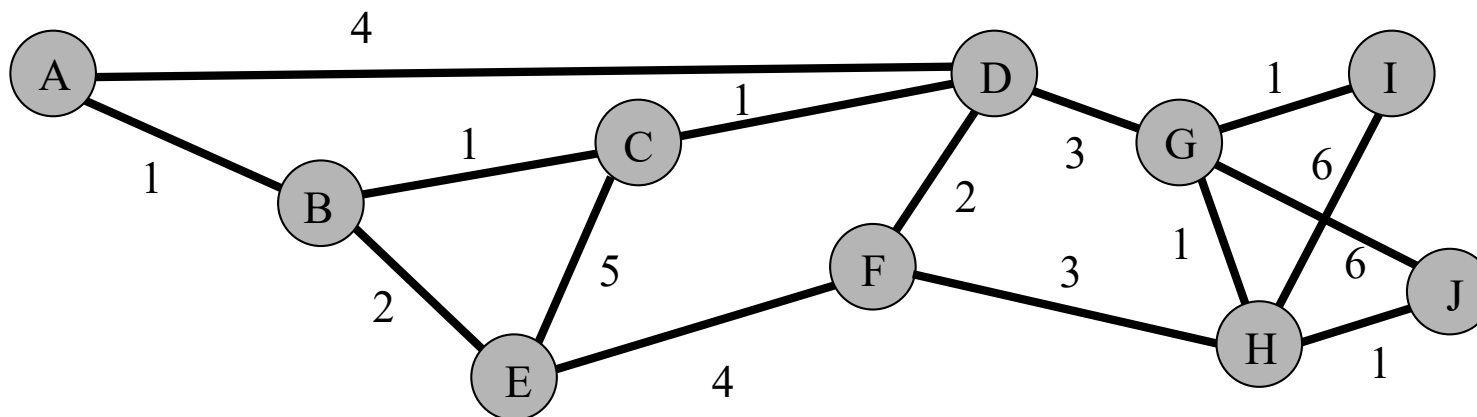
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2								

$$L_1(B) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, B)] = \min[\infty + 1, \infty + 0, \infty + 1, \infty + \infty, 0 + 2, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 2$$



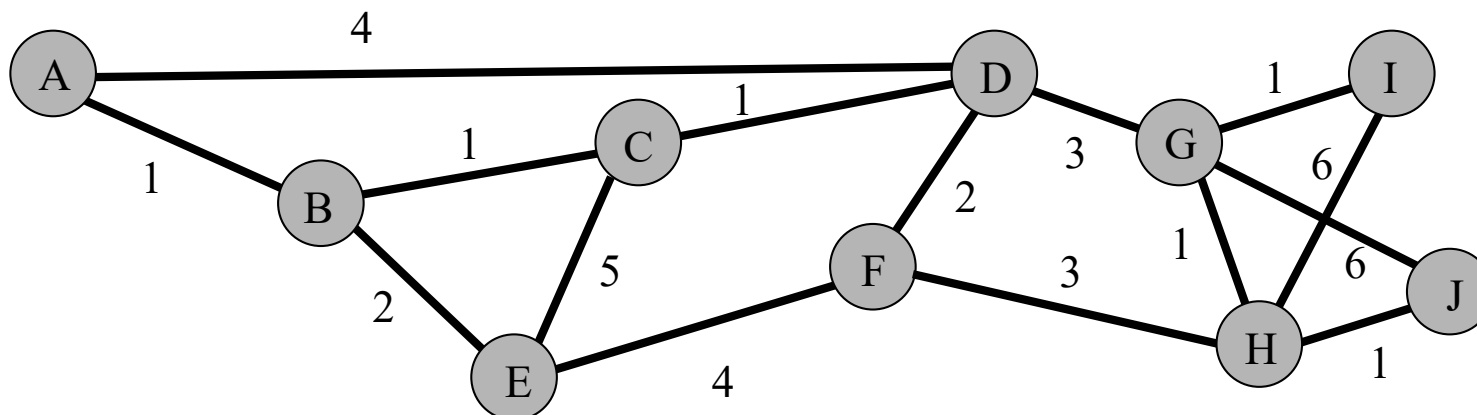
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5							

$$L_1(C) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, C)] = \min[\infty + \infty, \infty + 1, \infty + 0, \infty + 1, 0 + 5, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 5$$



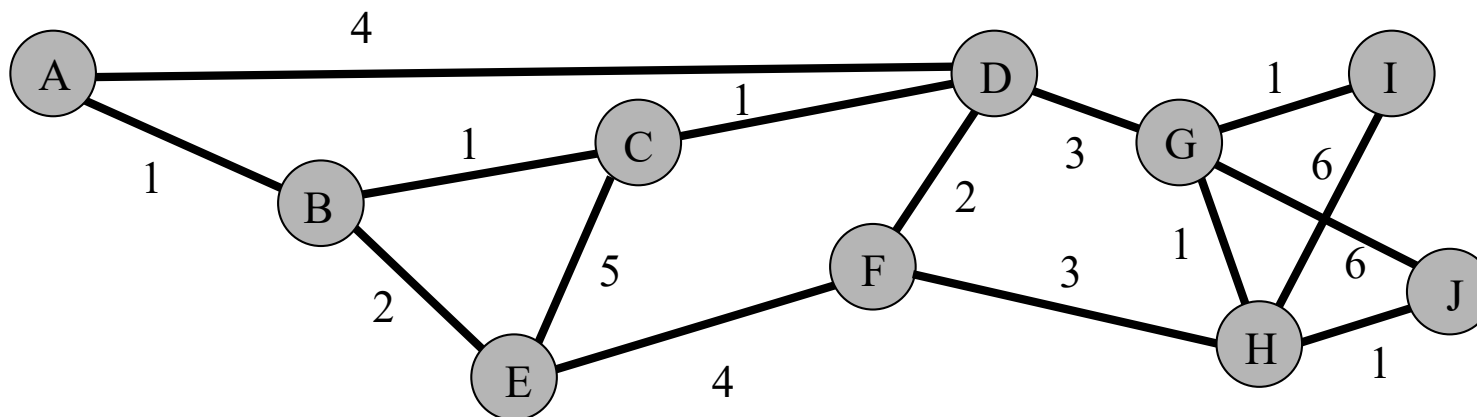
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞						

$$L_1(D) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, D)] = \min[\infty + 4, \infty + \infty, \infty + 1, \infty + 0, 0 + \infty, \infty + 2, \infty + 3, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = \infty$$



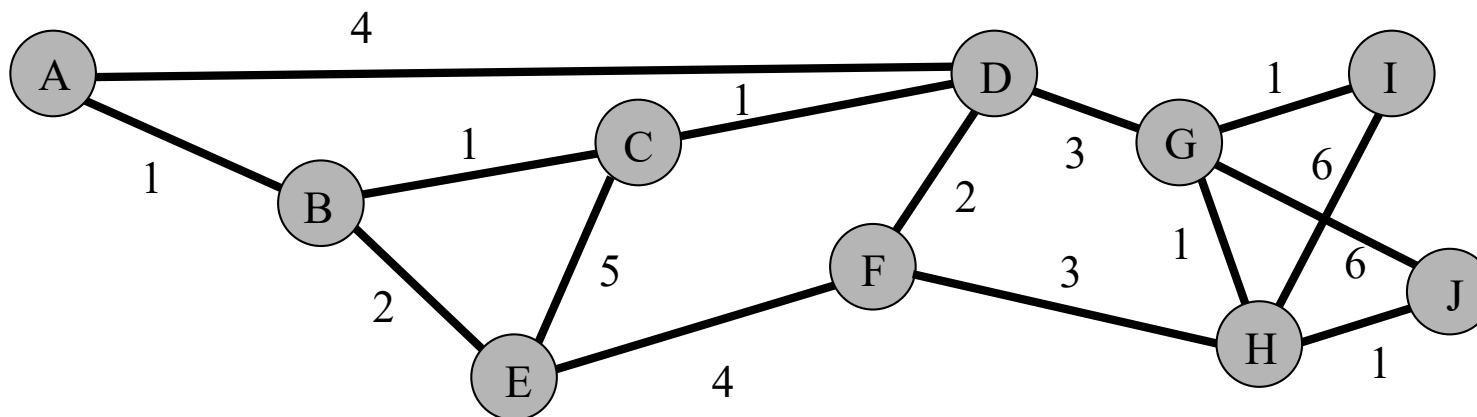
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4				

$$L_1(F) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, F)] = \min[\infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + 2, 0 + 4, \infty + 0, \infty + \infty, \infty + 3, \infty + \infty, \infty + \infty] = 4$$



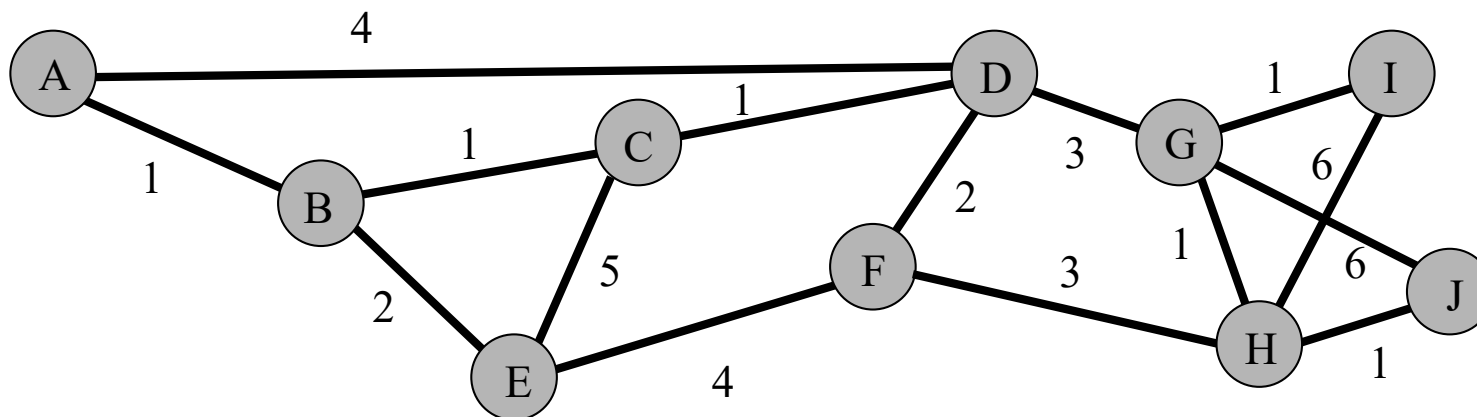
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞			

$$L_1(G) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, G)] = \min[\infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + 3, 0 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + 1, \infty + 1, \infty + 6] = \infty$$



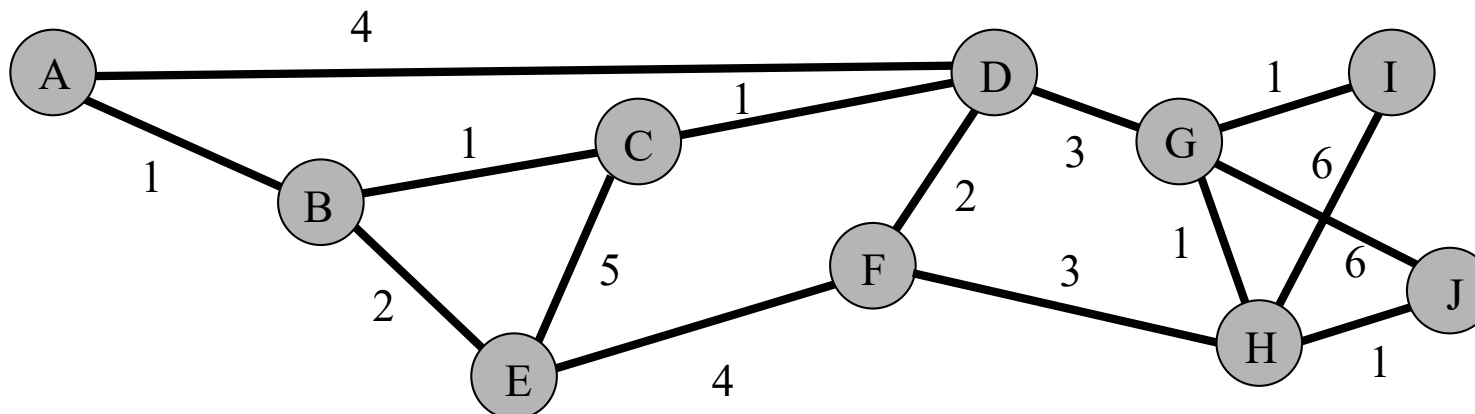
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞		

$$L_1(H) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, H)] = \min[\infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, 0 + \infty, \infty + 3, \infty + 1, \infty + 0, \infty + 6, \infty + 1] = \infty$$



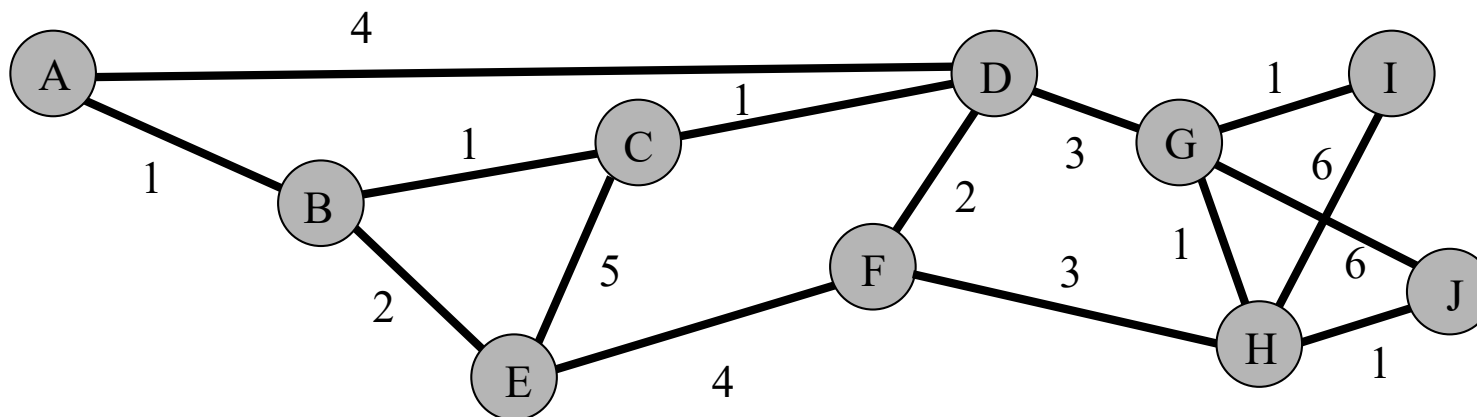
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	

$$L_1(I) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, I)] = \min[\infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, 0 + \infty, \infty + \infty, \infty + 1, \infty + 6, \infty + 1, \infty + \infty] = \infty$$



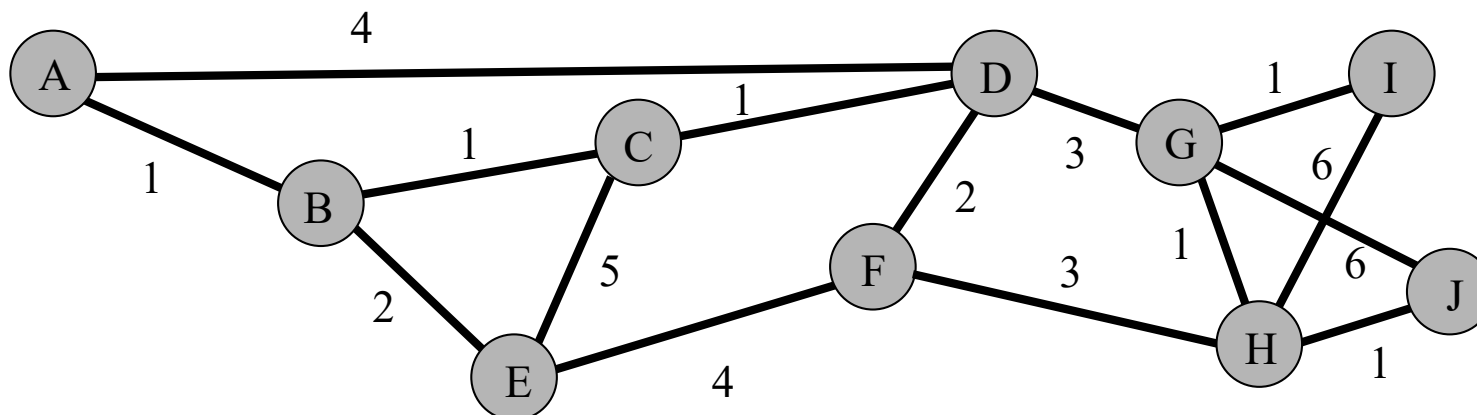
Cálculo mediante tabla

- $h = 1$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞

$$L_1(J) = \min_{j \in N} [L_0(j) + w(j, J)] = \min[\infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, 0 + \infty, \infty + \infty, \infty + 6, \infty + 1, \infty + \infty, \infty + 0] = \infty$$



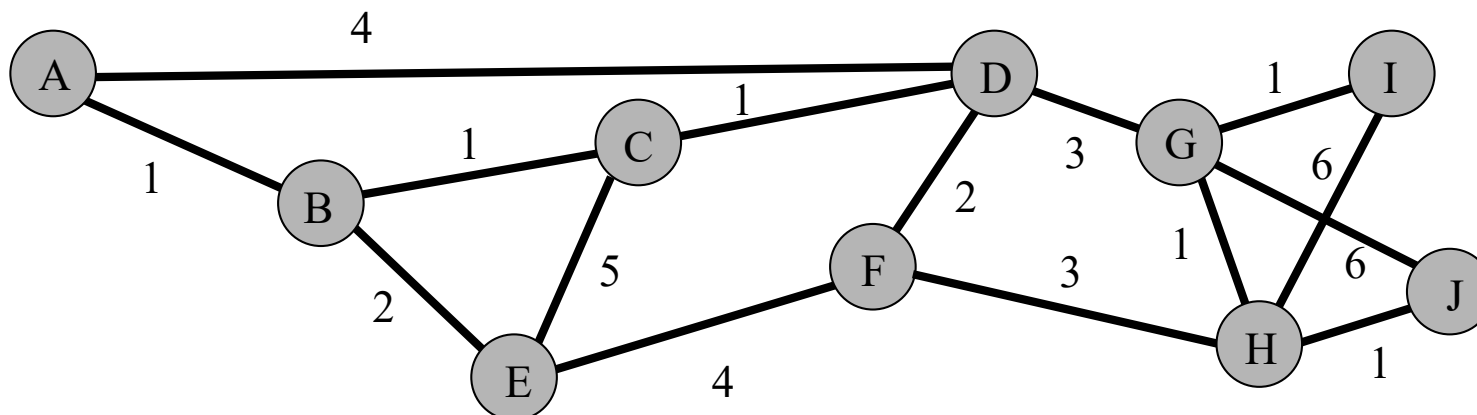
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$
- Cálculo a partir de la fila anterior

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2										

$$L_2(A) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, A)] =$$



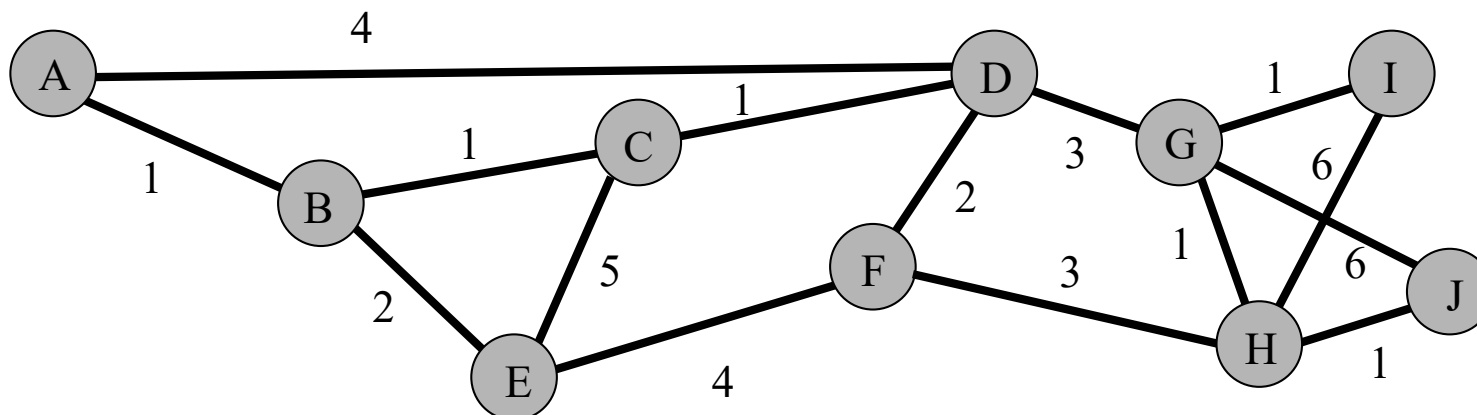
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3									

$$L_2(A) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, A)] = \min[\infty + 0, 2 + 1, 5 + \infty, \infty + 4, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 3$$



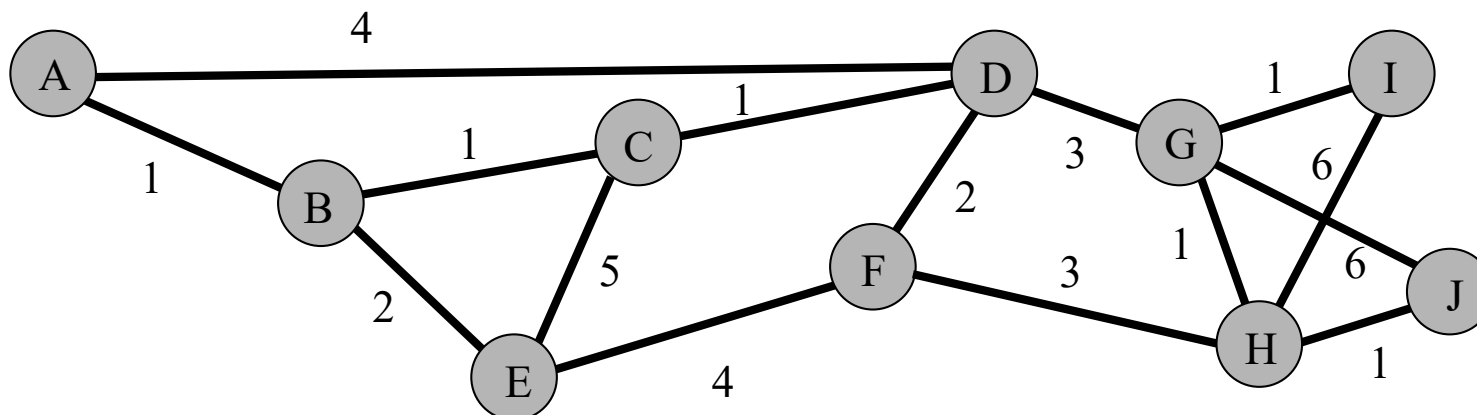
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2								

$$L_2(B) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, B)] = \min[\infty + 1, 2 + 0, 5 + 1, \infty + \infty, 0 + 2, 4 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 2$$



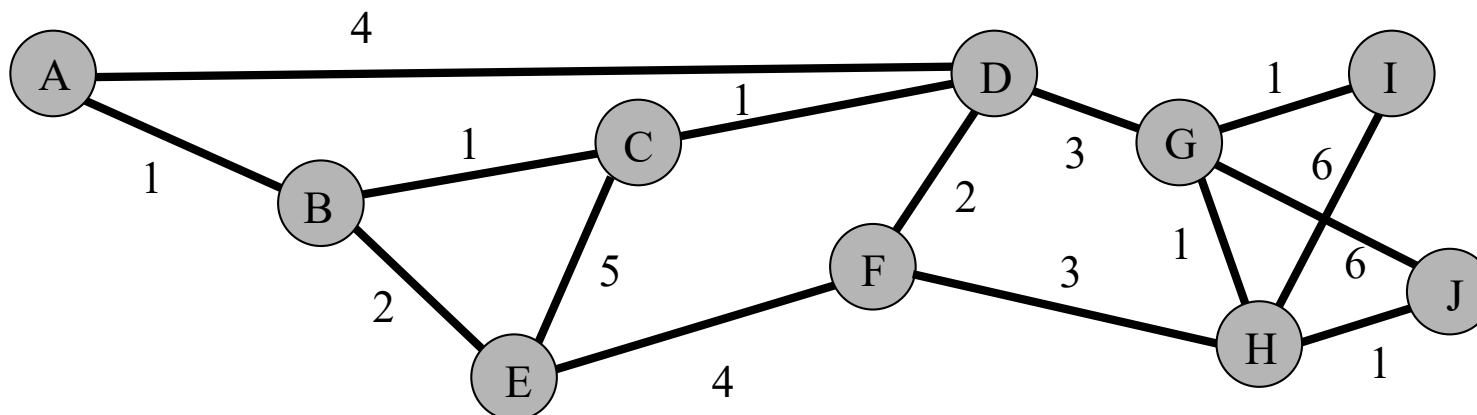
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3							

$$L_2(C) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, C)] = \min[\infty + \infty, 2 + 1, 5 + 0, \infty + 1, 0 + 5, 4 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 3$$



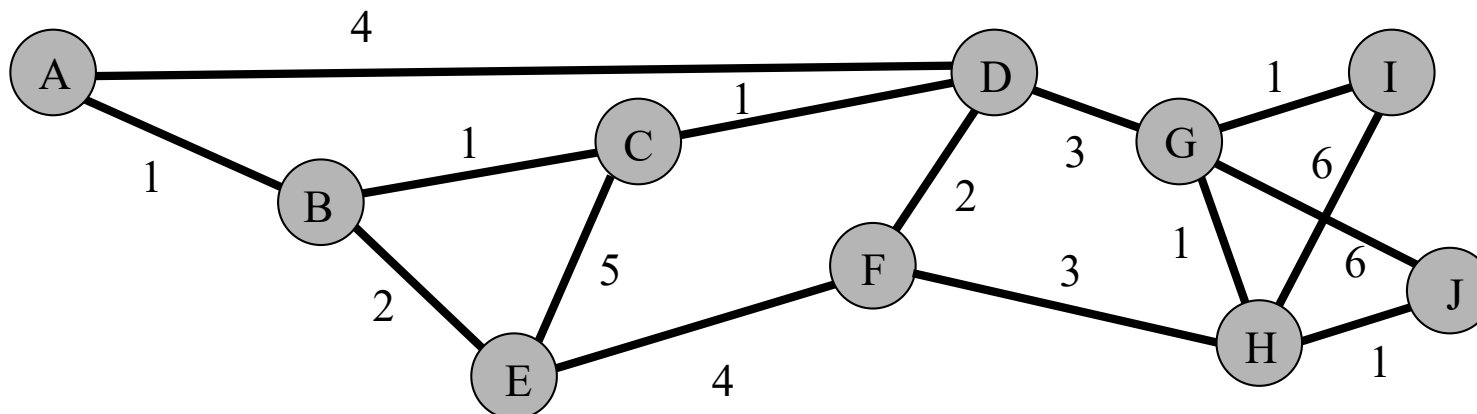
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6						

$$L_2(D) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, D)] = \min[\infty + 4, 2 + \infty, 5 + 1, \infty + 0, 0 + \infty, 4 + 2, \infty + 3, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 6$$



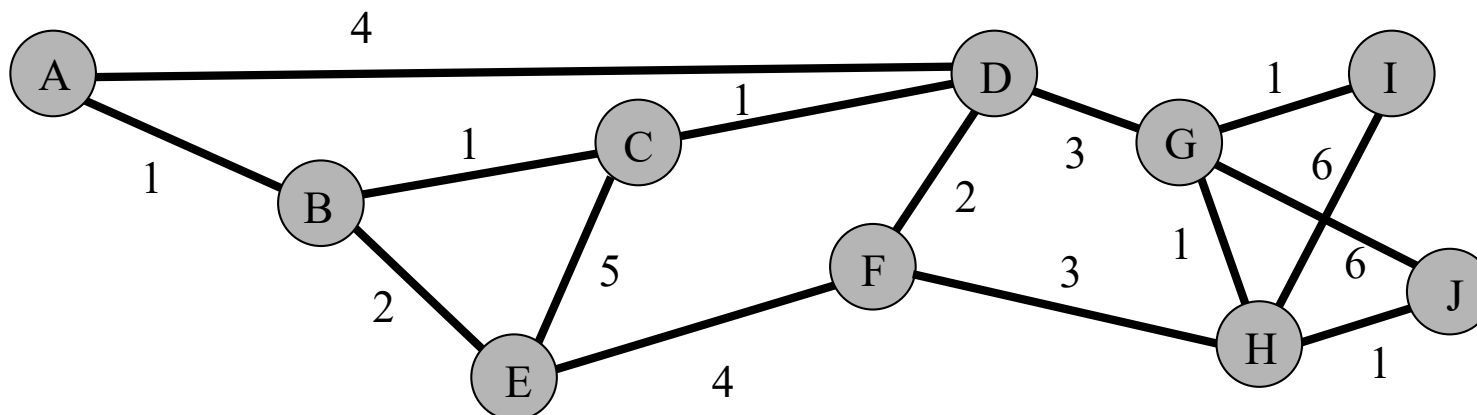
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4				

$$L_2(F) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, F)] = \min[\infty + \infty, 2 + \infty, 5 + \infty, \infty + 2, 0 + 4, 4 + 0, \infty + \infty, \infty + 3, \infty + \infty] = 4$$



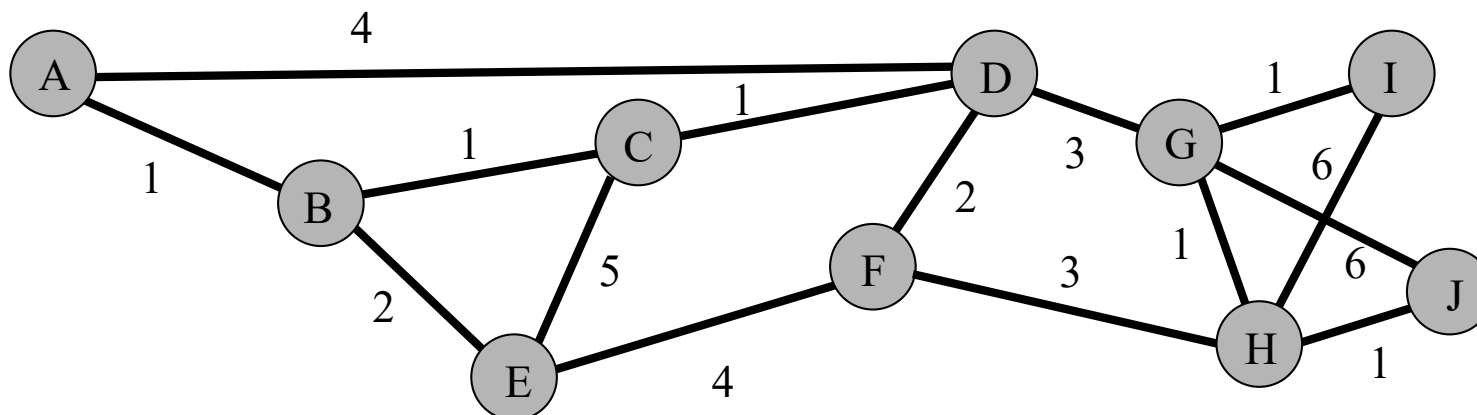
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞			

$$L_2(G) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, G)] = \min[\infty + \infty, 2 + \infty, 5 + \infty, \infty + 3, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + 0, \infty + 1, \infty + 1, \infty + \infty] = \infty$$



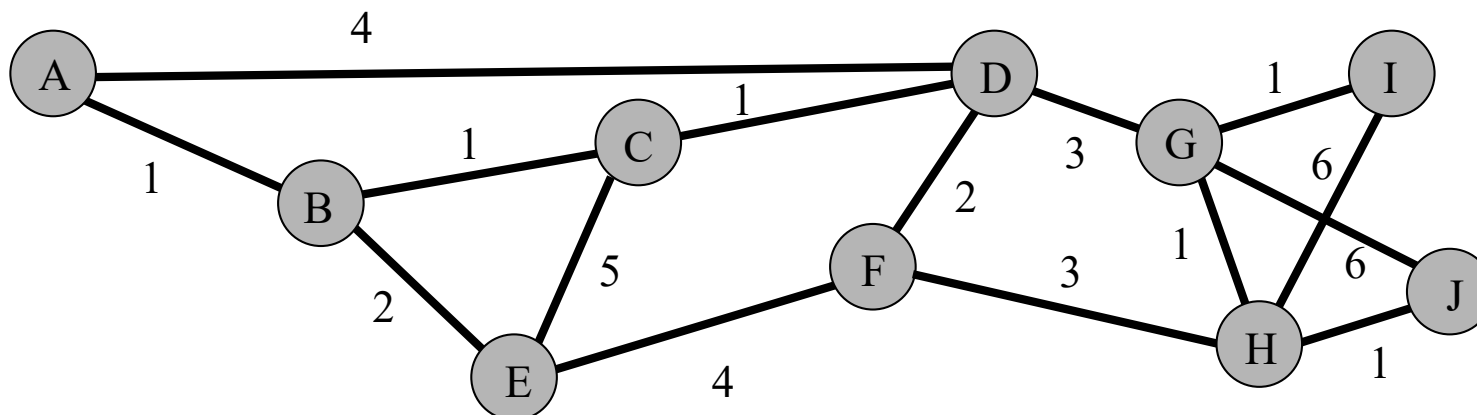
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7		

$$L_2(H) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, H)] = \min[\infty + \infty, 2 + \infty, 5 + \infty, \infty + \infty, 0 + \infty, 4 + 3, \infty + 1, \infty + 0, \infty + 6, \infty + 1] = 7$$



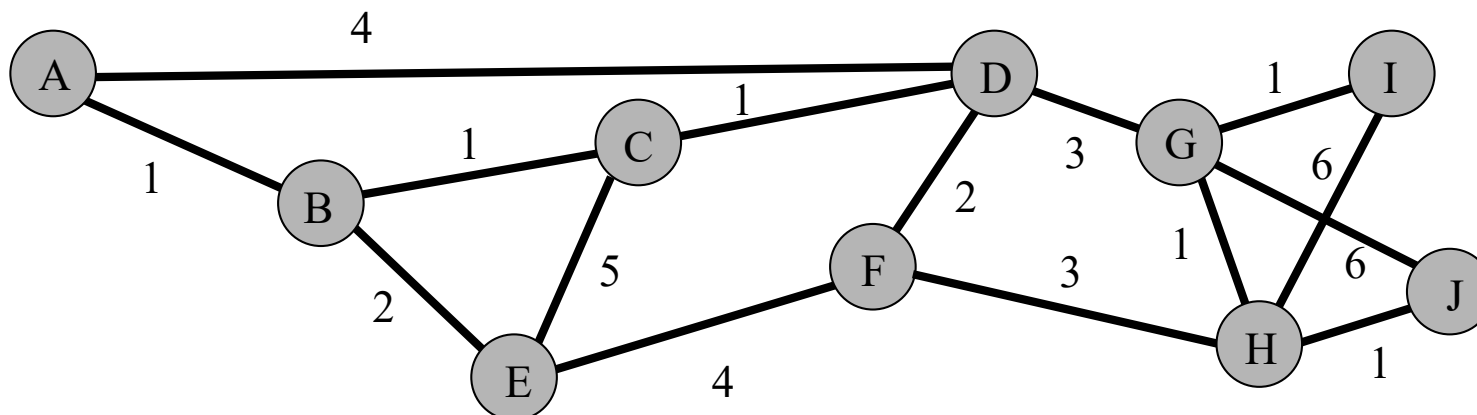
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	

$$L_2(I) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, I)] = \min[\infty + \infty, 2 + \infty, 5 + \infty, \infty + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + 1, \infty + 6, \infty + 0, \infty + \infty] = \infty$$



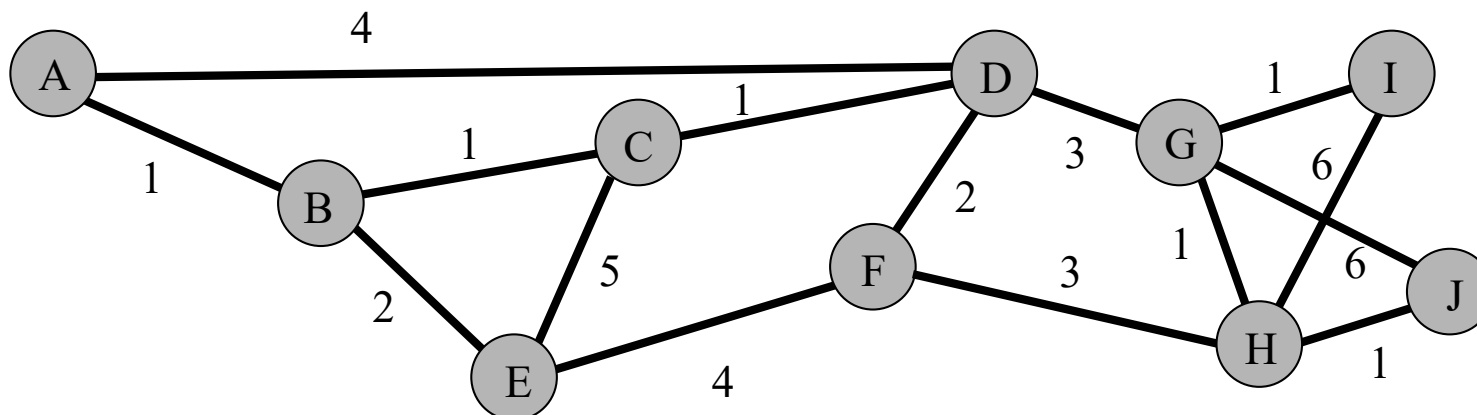
Cálculo mediante tabla

- $h = 2$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞

$$L_2(J) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, J)] = \min[\infty + \infty, 2 + \infty, 5 + \infty, \infty + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + 6, \infty + 1, \infty + \infty, \infty + 0] = \infty$$



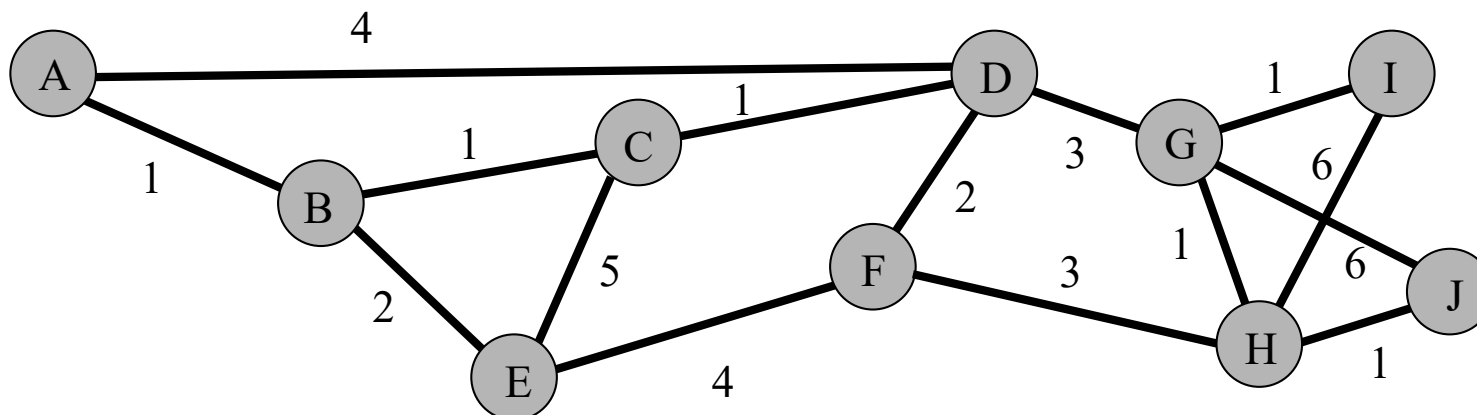
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$
- Cálculo a partir de la fila anterior

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3										

$$L_3(A) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, A)] =$$



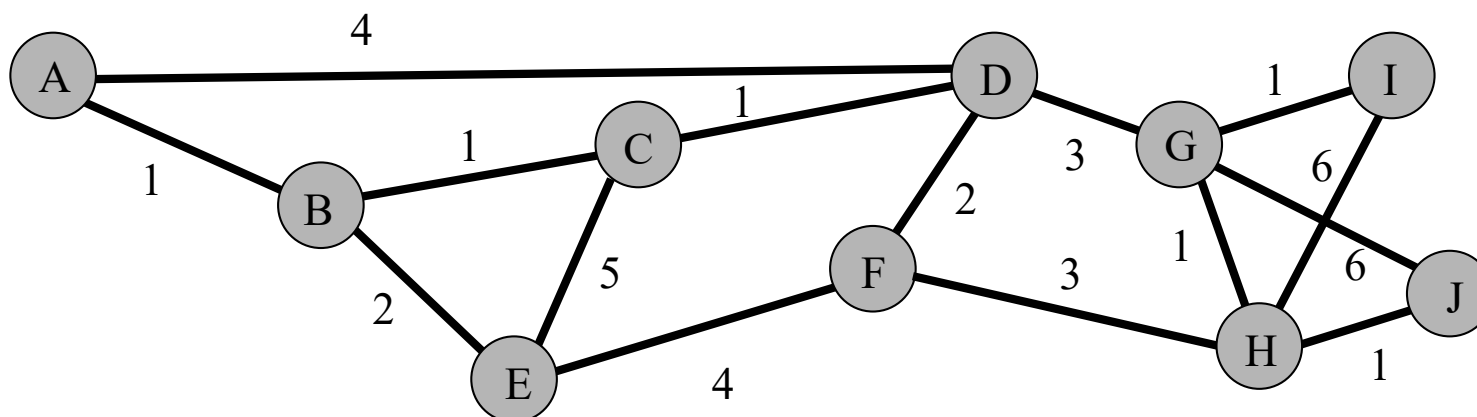
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3									

$$L_3(A) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, A)] = \min[3 + 0, 2 + 1, 3 + \infty, 6 + 4, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + \infty, 7 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 3$$



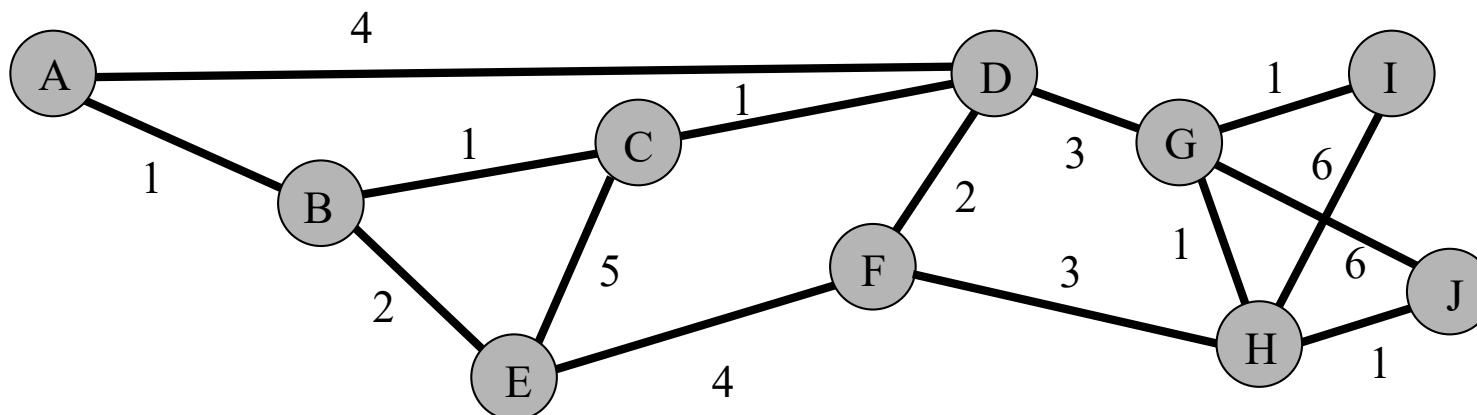
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2								

$$L_3(B) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, B)] = \min[3 + 1, 2 + 0, 3 + 1, 6 + \infty, 0 + 2, 4 + \infty, \infty + \infty, 7 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 2$$



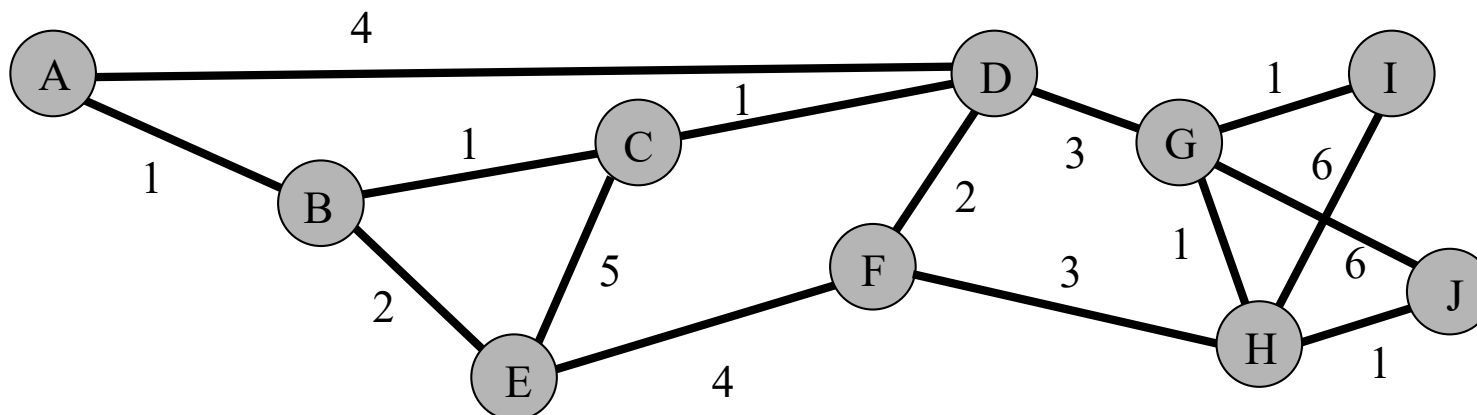
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3							

$$L_3(C) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, C)] = \min[3 + \infty, 2 + 1, 3 + 0, 6 + 1, 0 + 5, 4 + \infty, \infty + \infty, 7 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 3$$



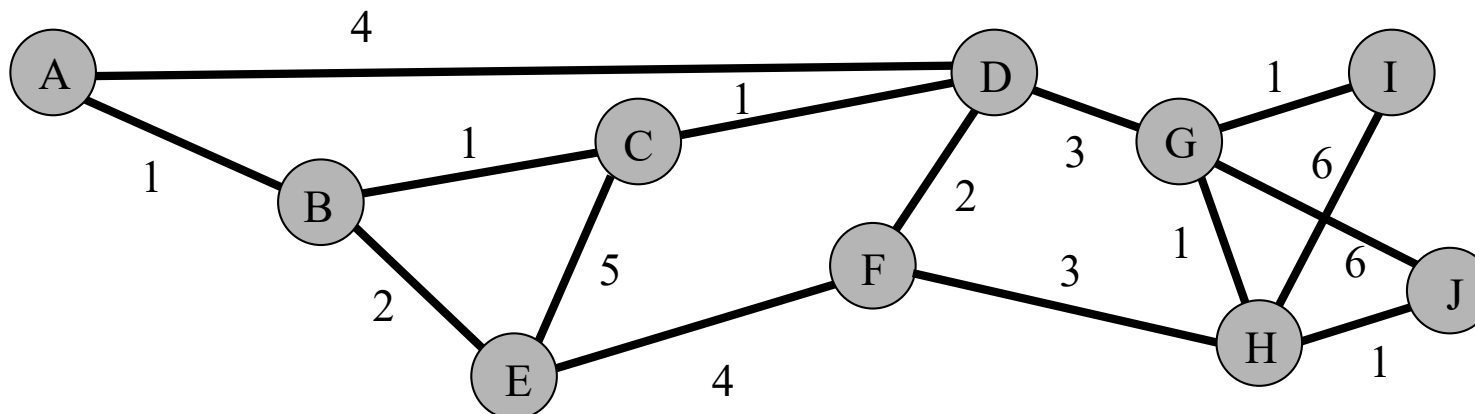
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4						

$$L_3(D) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, D)] = \min[3 + 4, 2 + \infty, 3 + 1, 6 + 0, 0 + \infty, 4 + 2, \infty + 3, 7 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 4$$



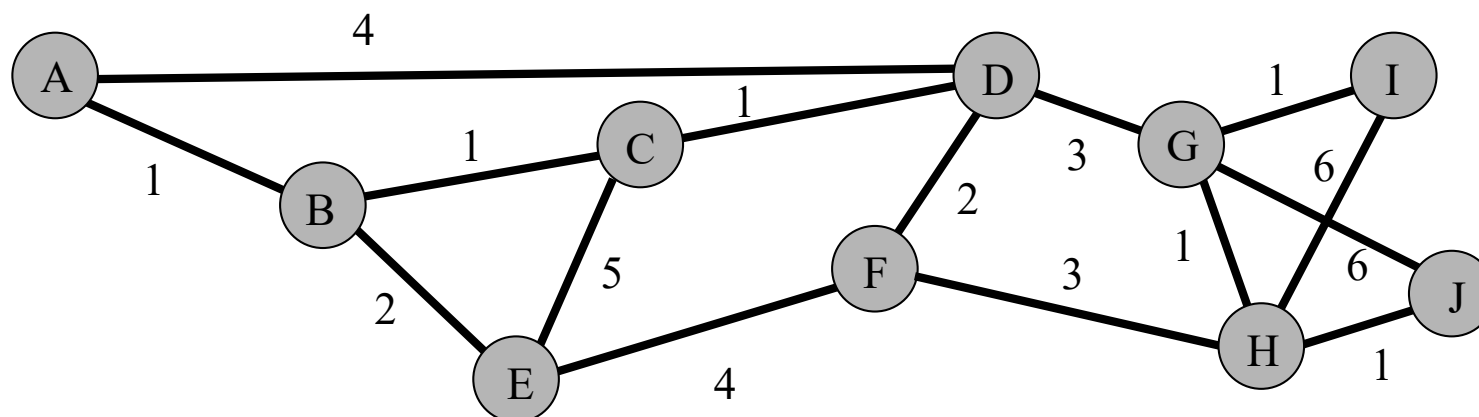
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4				

$$L_3(F) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, F)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 6 + 2, 0 + 4, 4 + 0, \infty + \infty, 7 + 3, \infty + \infty, \infty + \infty] = 4$$



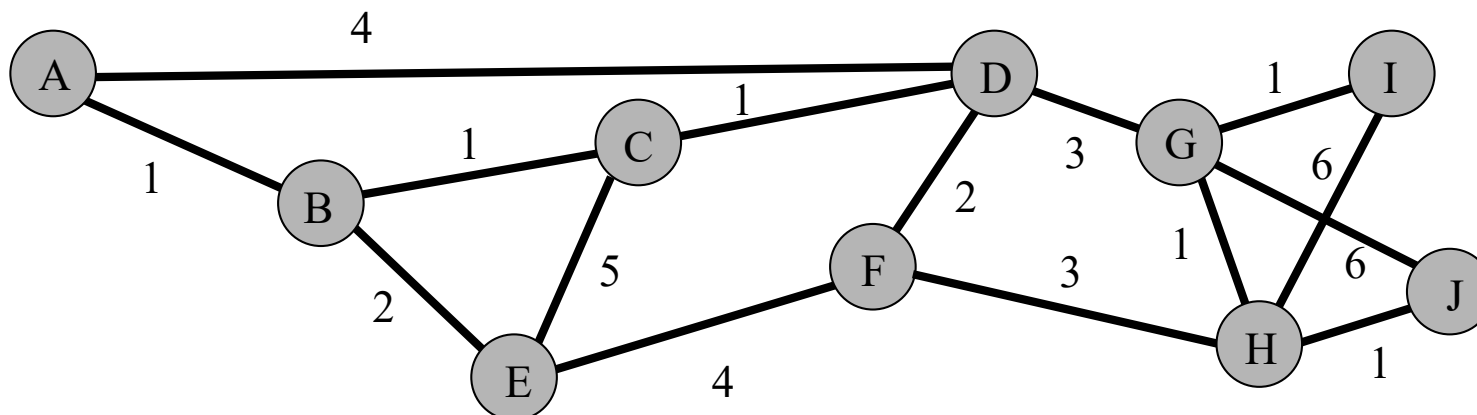
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8			

$$L_3(G) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, G)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 6 + 3, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + 0, 7 + 1, \infty + 1, \infty + \infty] = 8$$



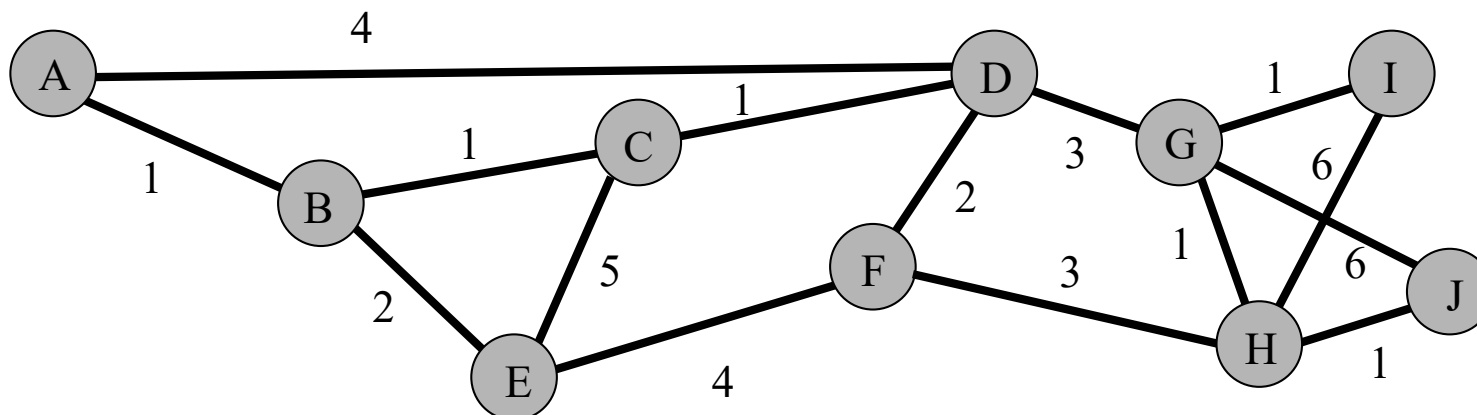
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7		

$$L_3(H) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, H)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 6 + \infty, 0 + \infty, 4 + 3, \infty + 1, 7 + 0, \infty + 6, \infty + 1] = 7$$



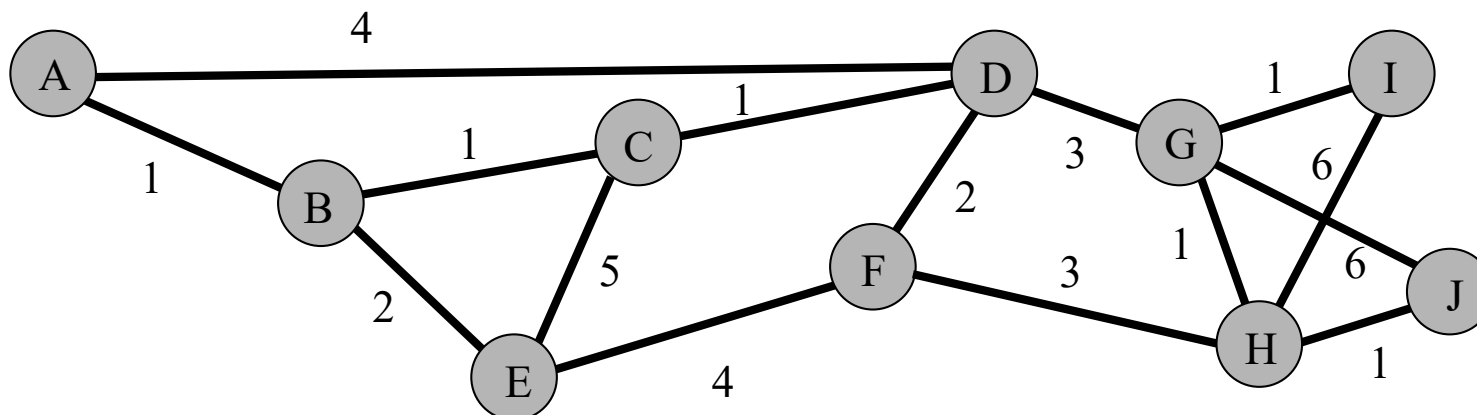
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	

$$L_3(I) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, I)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 6 + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + 1, 7 + 6, \infty + 0, \infty + \infty] = 13$$



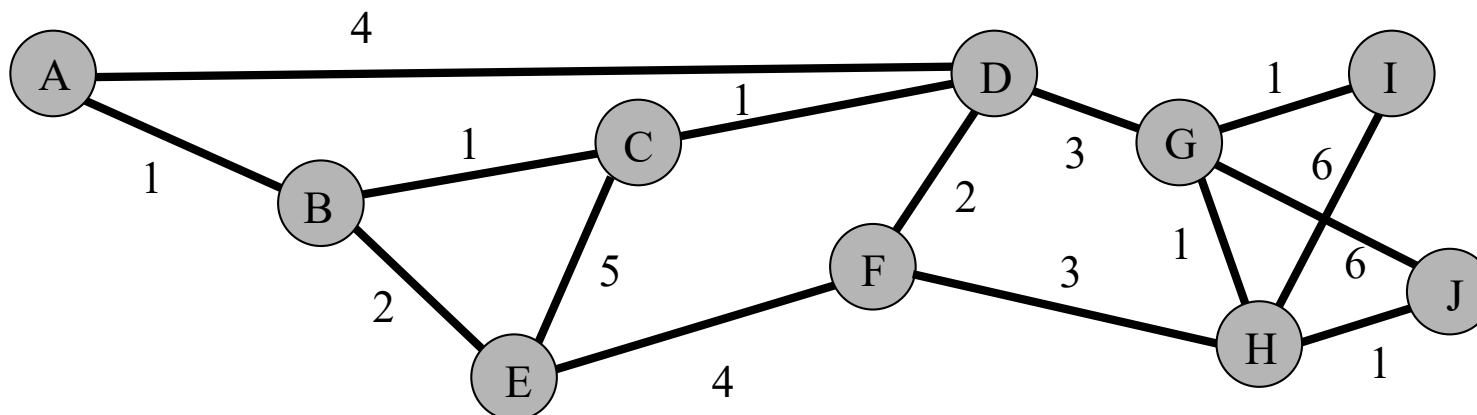
Cálculo mediante tabla

- $h = 3$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8

$$L_3(J) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, J)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 6 + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + 6, 7 + 1, \infty + \infty, \infty + 0] = 8$$



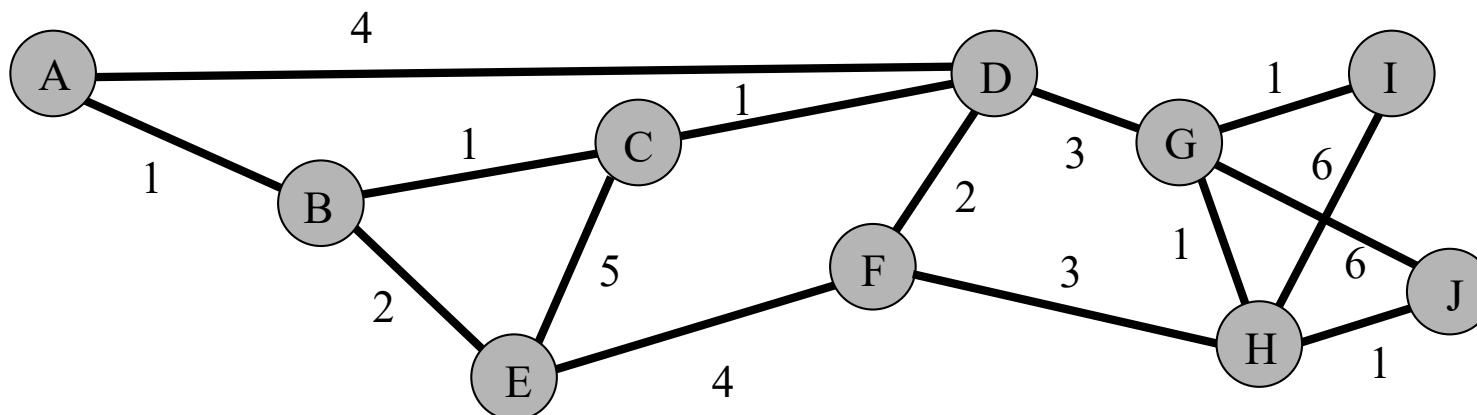
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4										

$$L_4(A) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, A)] =$$



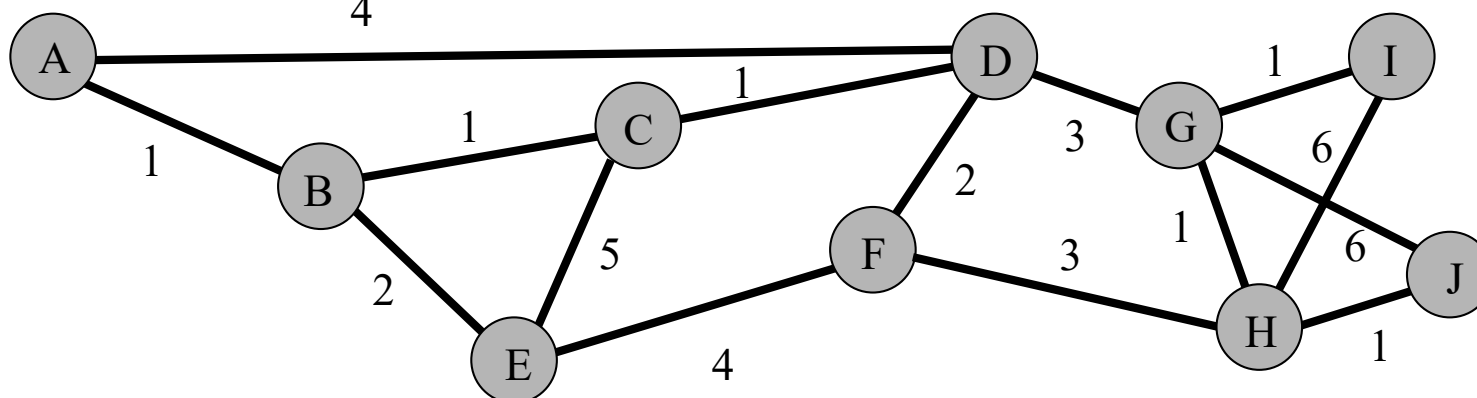
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3									

$$L_4(A) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, A)] = \min[3 + 0, 2 + 1, 3 + \infty, 4 + 4, 0 + \infty, 4 + \infty, 8 + \infty, 7 + \infty, 13 + \infty, 8 + \infty] = 3$$



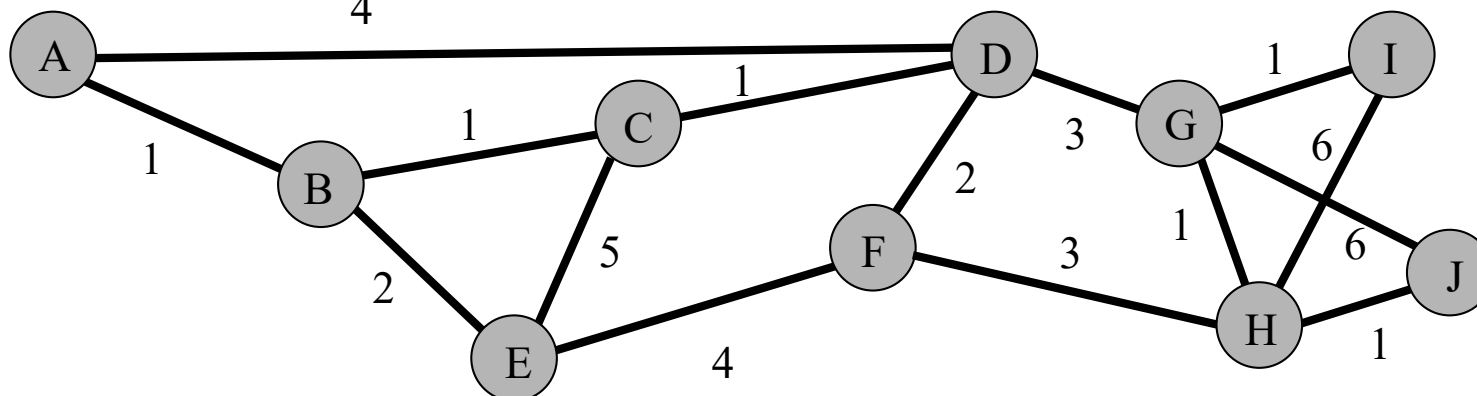
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2								

$$L_4(B) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, B)] = \min[3 + 1, 2 + 0, 3 + 1, 4 + \infty, 0 + 2, 4 + \infty, 8 + \infty, 7 + \infty, 13 + \infty, 8 + \infty] = 2$$



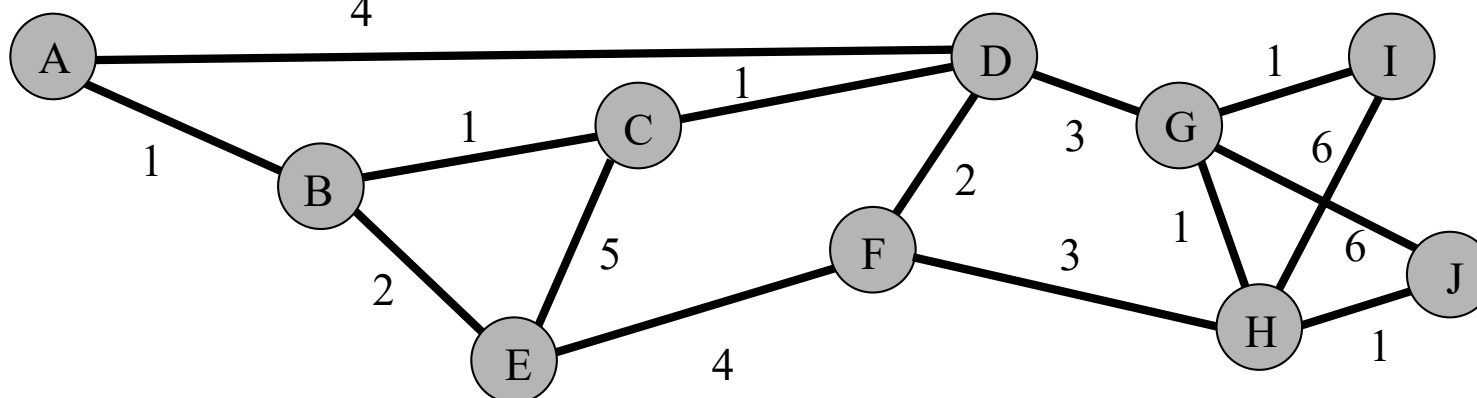
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3							

$$L_4(C) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, C)] = \min[3 + \infty, 2 + 1, 3 + 0, 4 + 1, 0 + 5, 4 + \infty, 8 + \infty, 7 + \infty, 13 + \infty, 8 + \infty] = 3$$



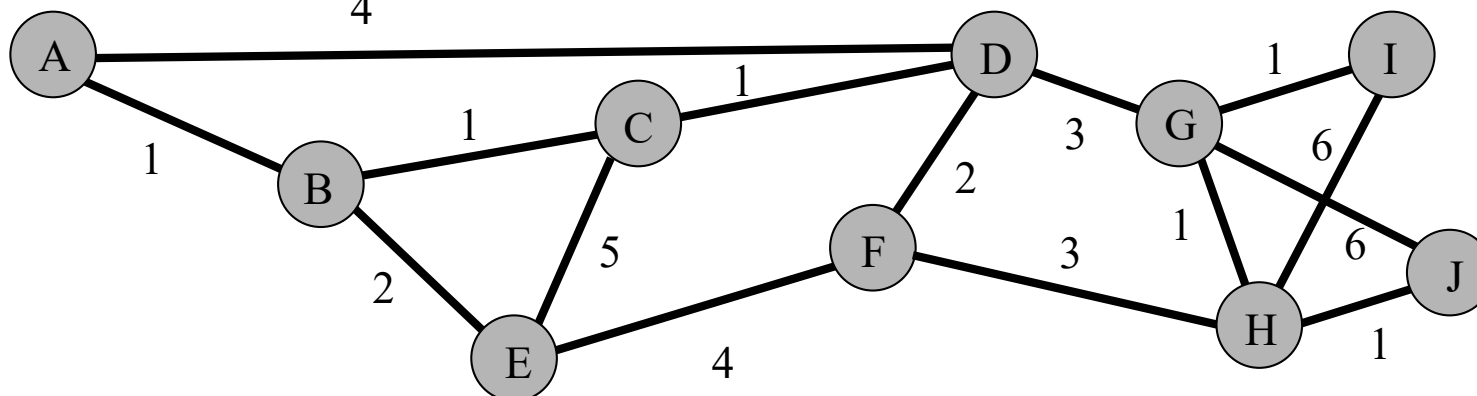
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4						

$$L_4(D) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, D)] = \min[3 + 4, 2 + \infty, 3 + 1, 4 + 0, 0 + \infty, 4 + 2, 8 + 3, 7 + \infty, 13 + \infty, 8 + \infty] = 4$$



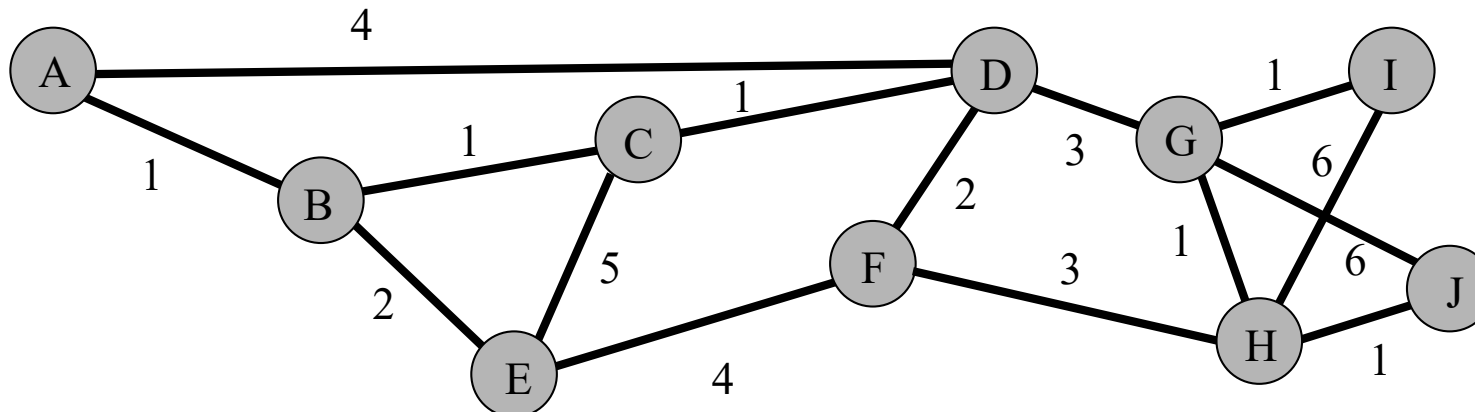
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4				

$$L_4(F) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, F)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + 2, 0 + 4, 4 + 0, 8 + \infty, 7 + 3, 13 + \infty, 8 + \infty] = 4$$



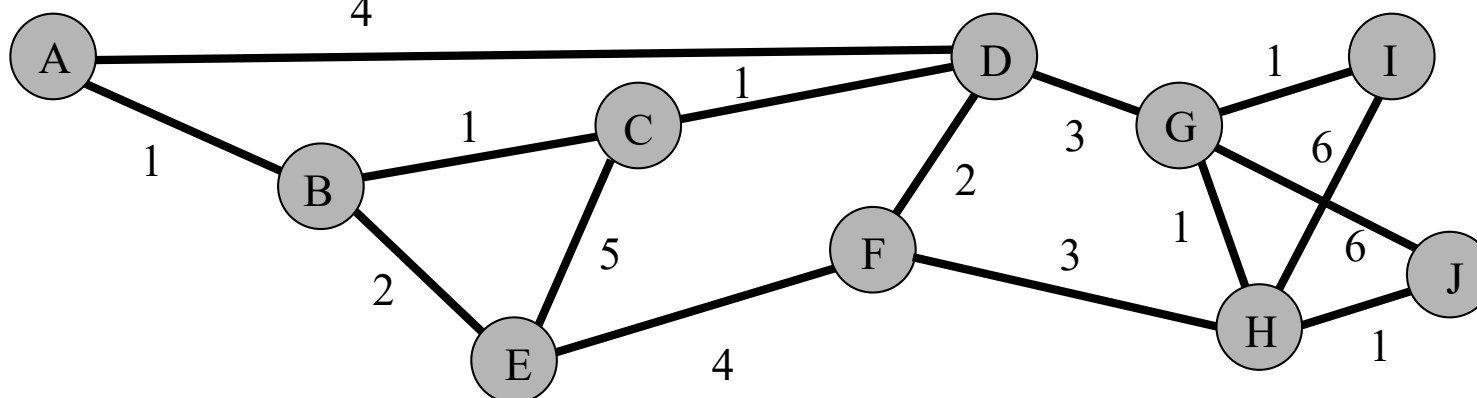
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7			

$$L_4(G) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, G)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + 3, 0 + \infty, 4 + \infty, 8 + 0, 7 + 1, 13 + 1, 8 + 6] = 7$$



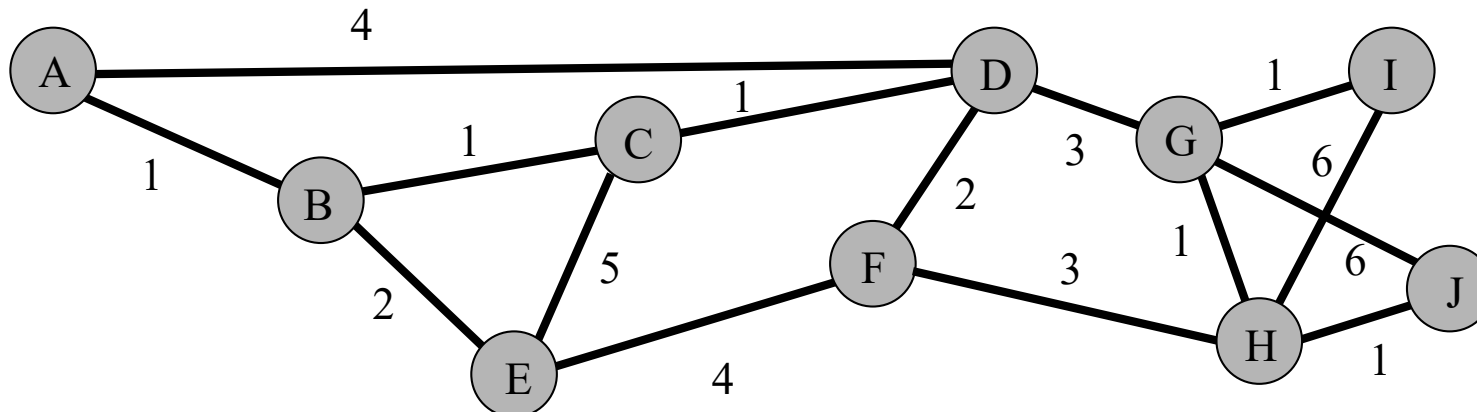
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7		

$$L_4(H) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, H)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + 3, 8 + 1, 7 + 0, 13 + 6, 8 + 1] = 7$$



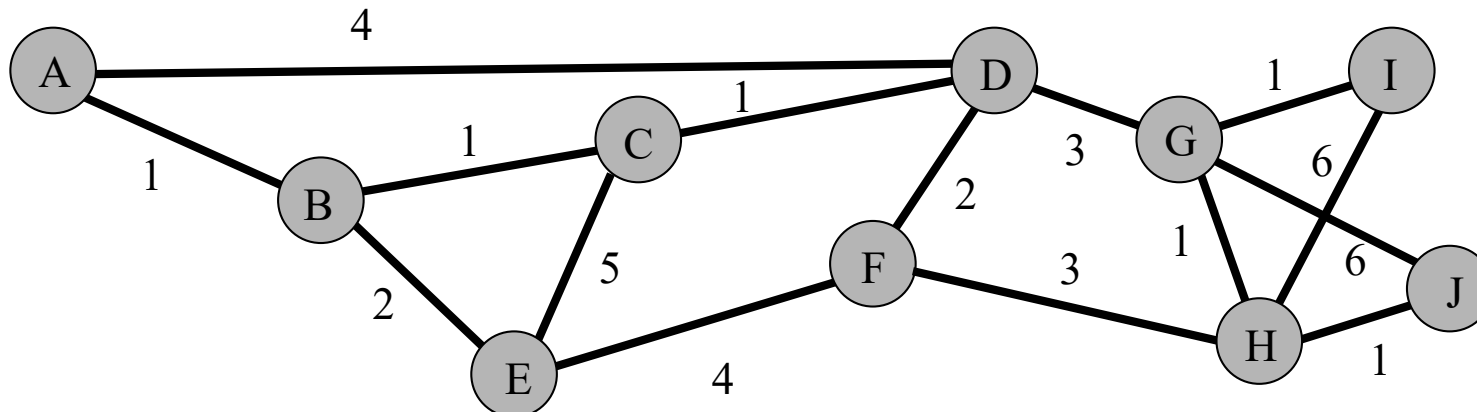
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	

$$L_4(I) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, I)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, 8 + 1, 7 + 6, 13 + 0, 8 + \infty] = 9$$



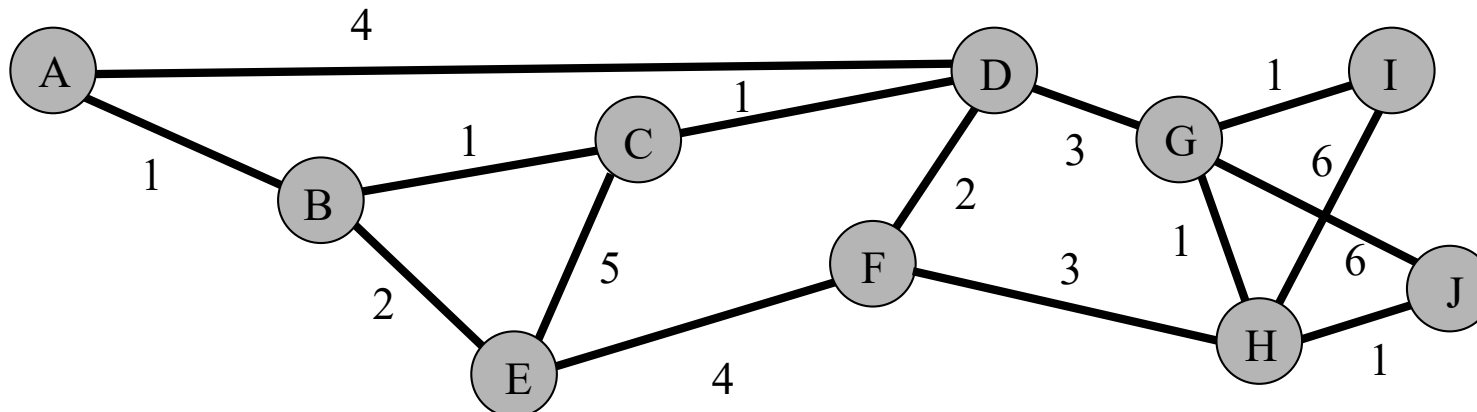
Cálculo mediante tabla

- $h = 4$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8

$$L_4(J) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, J)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, 8 + 6, 7 + 1, 13 + \infty, 8 + 0] = 8$$



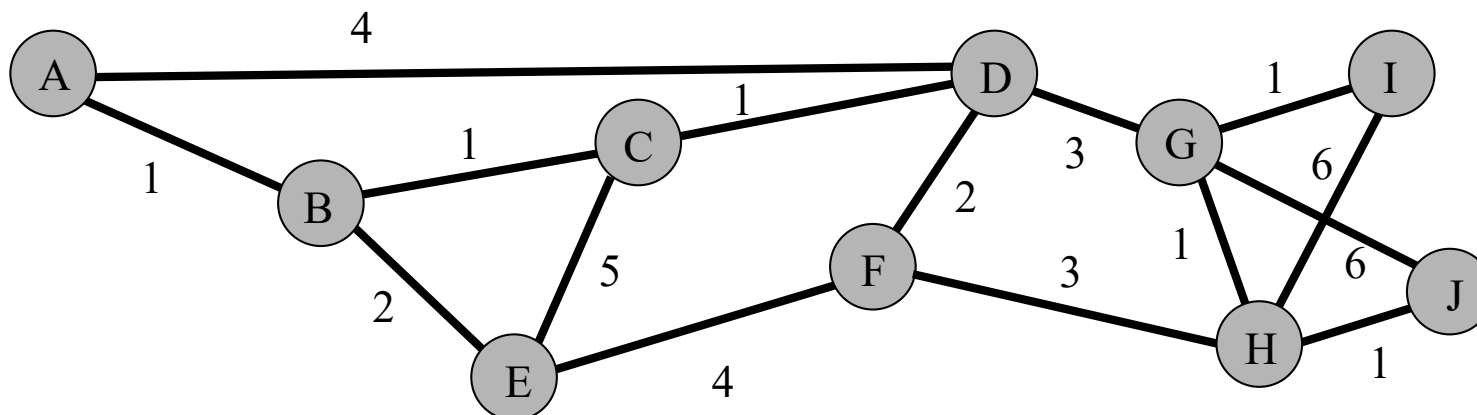
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5										

$$L_5(A) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, A)] =$$



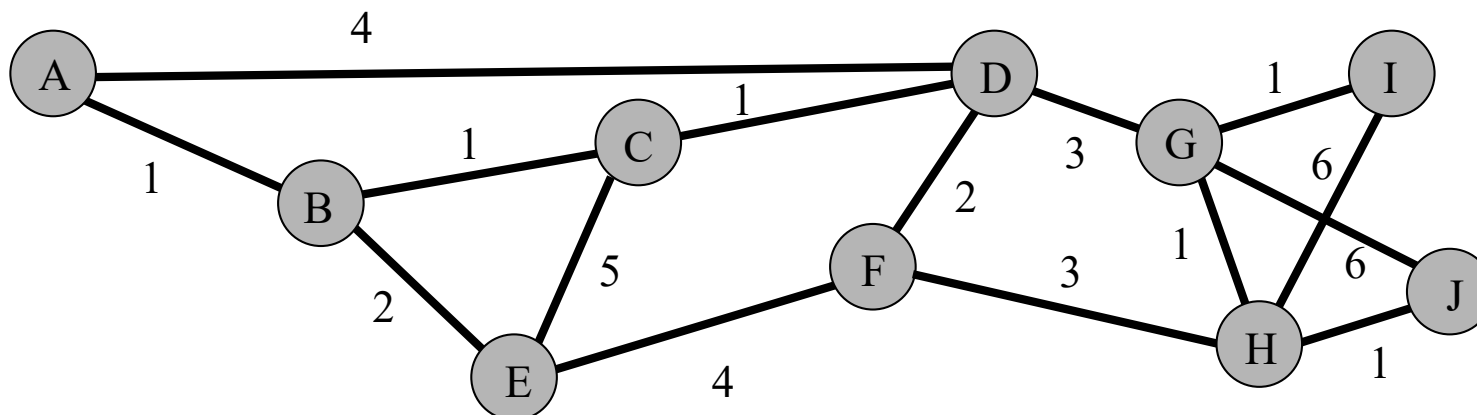
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3									

$$L_5(A) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, A)] = \min[3 + 0, 2 + 1, 3 + \infty, 4 + 4, 0 + \infty, 4 + \infty, 7 + \infty, 7 + \infty, 9 + \infty, 8 + \infty] = 3$$



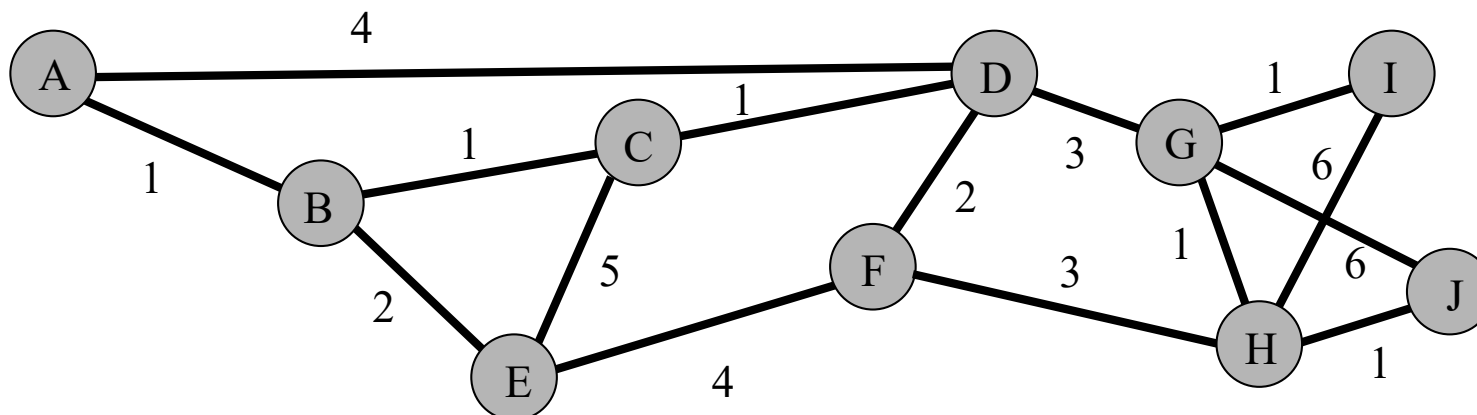
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2								

$$L_5(B) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, B)] = \min[3 + 1, 2 + 0, 3 + 1, 4 + \infty, 0 + 2, 4 + \infty, 7 + \infty, 7 + \infty, 9 + \infty, 8 + \infty] = 2$$



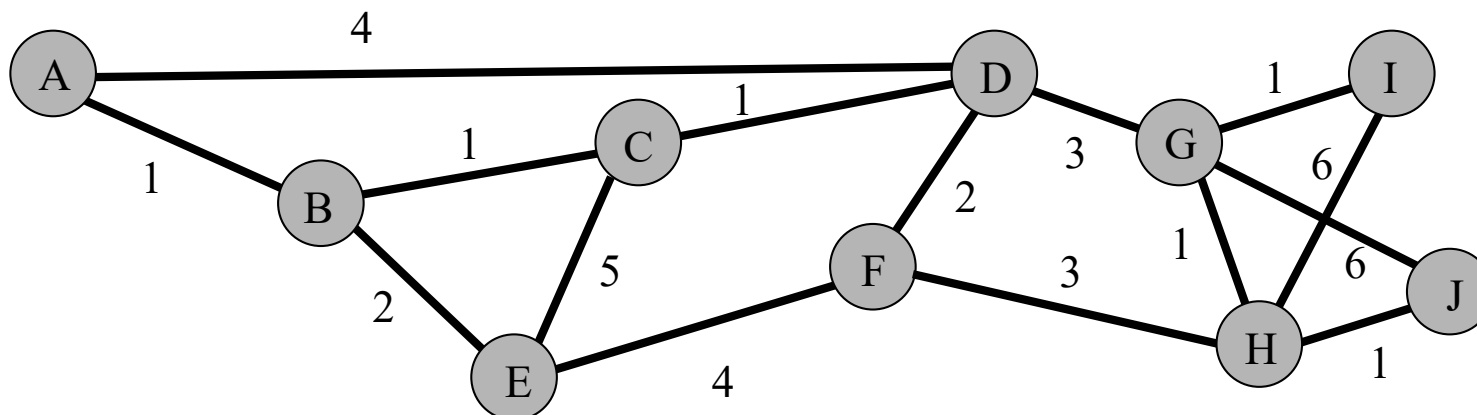
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3							

$$L_5(C) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, C)] = \min[3 + \infty, 2 + 1, 3 + 0, 4 + 1, 0 + 5, 4 + \infty, 7 + \infty, 7 + \infty, 9 + \infty, 8 + \infty] = 3$$



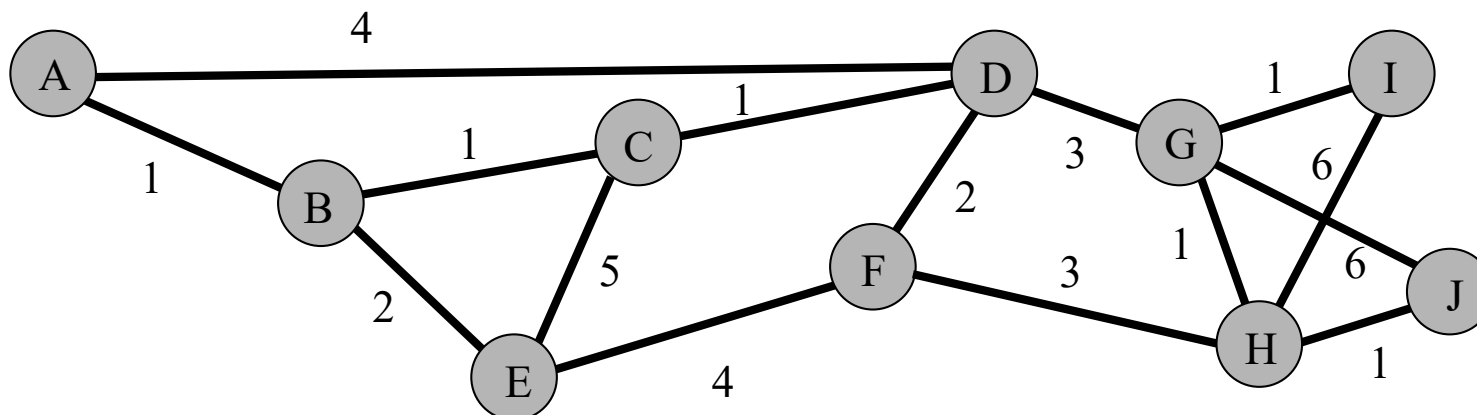
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4						

$$L_5(D) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, D)] = \min[3 + 4, 2 + \infty, 3 + 1, 4 + 0, 0 + \infty, 4 + 2, 7 + 3, 7 + \infty, 9 + \infty, 8 + \infty] = 4$$



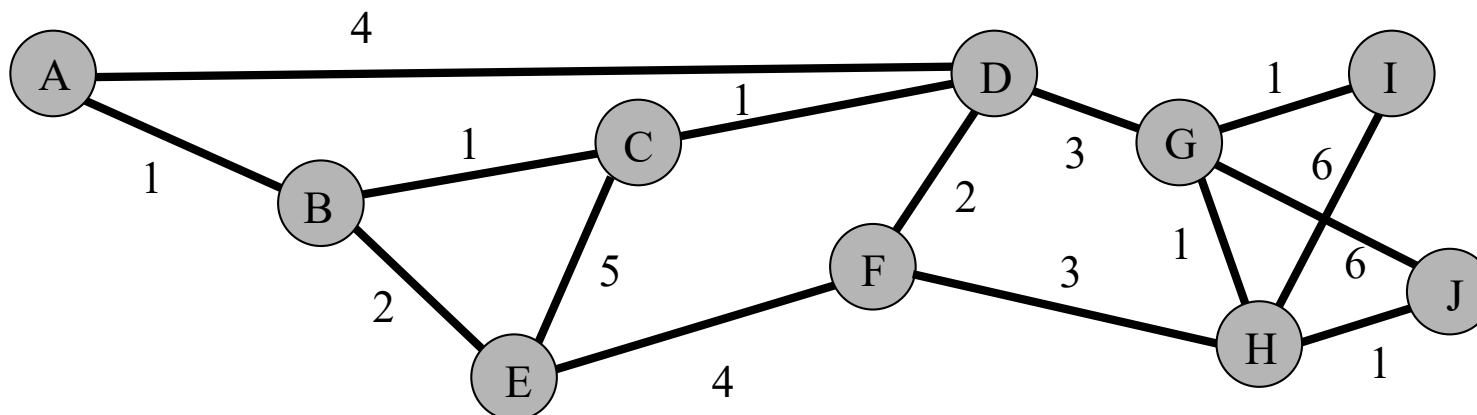
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4				

$$L_5(F) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, F)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + 2, 0 + 4, 4 + 0, 7 + \infty, 7 + 3, 9 + \infty, 8 + \infty] = 4$$



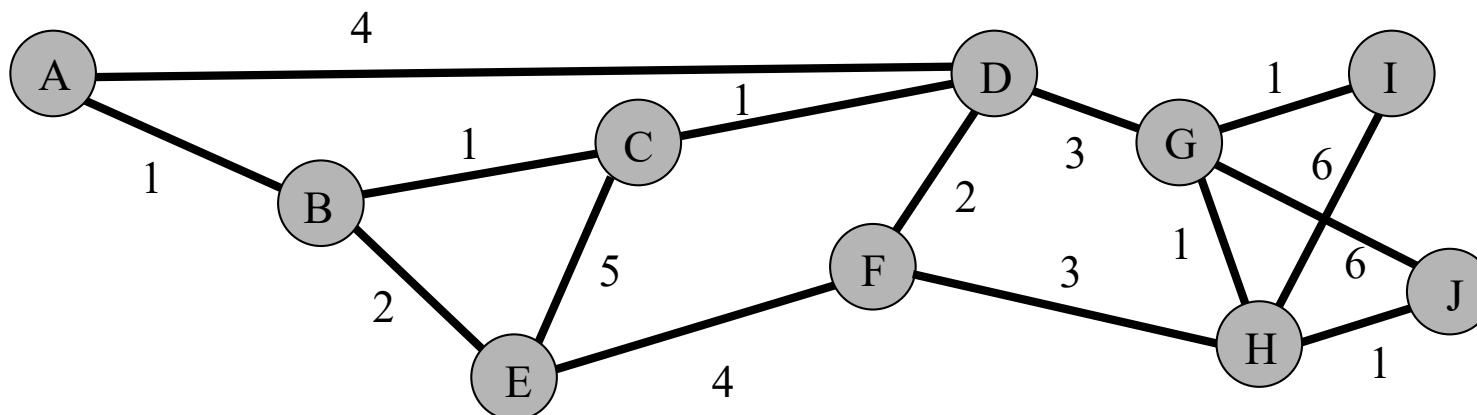
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7			

$$L_5(G) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, G)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + 3, 0 + \infty, 4 + \infty, 7 + 0, 7 + 1, 9 + 1, 8 + 6] = 7$$



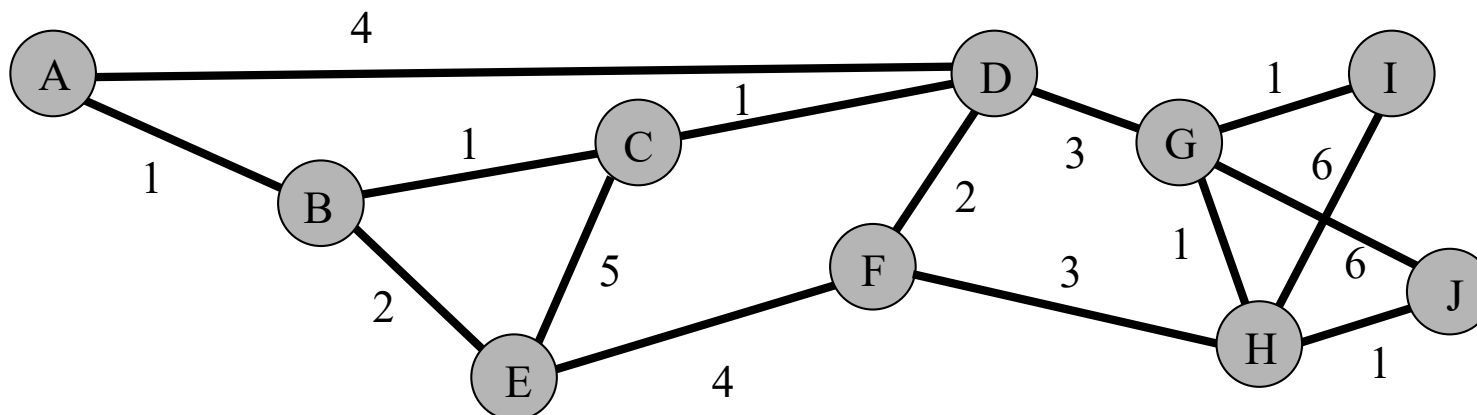
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7		

$$L_5(H) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, H)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + 3, 7 + 1, 7 + 0, 9 + 6, 8 + 1] = 7$$



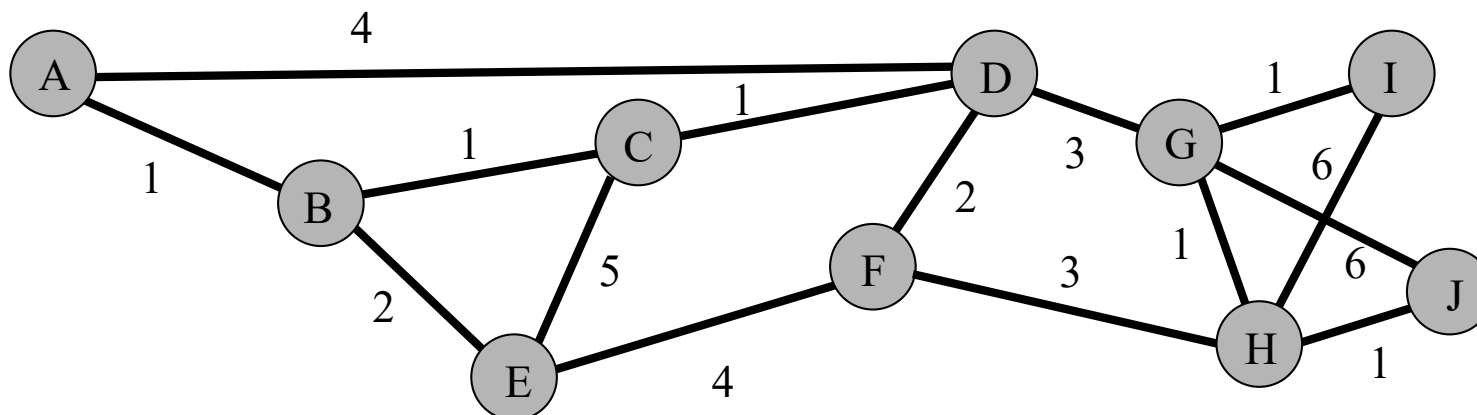
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	

$$L_5(I) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, I)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, 7 + 1, 7 + 6, 9 + 0, 8 + \infty] = 8$$



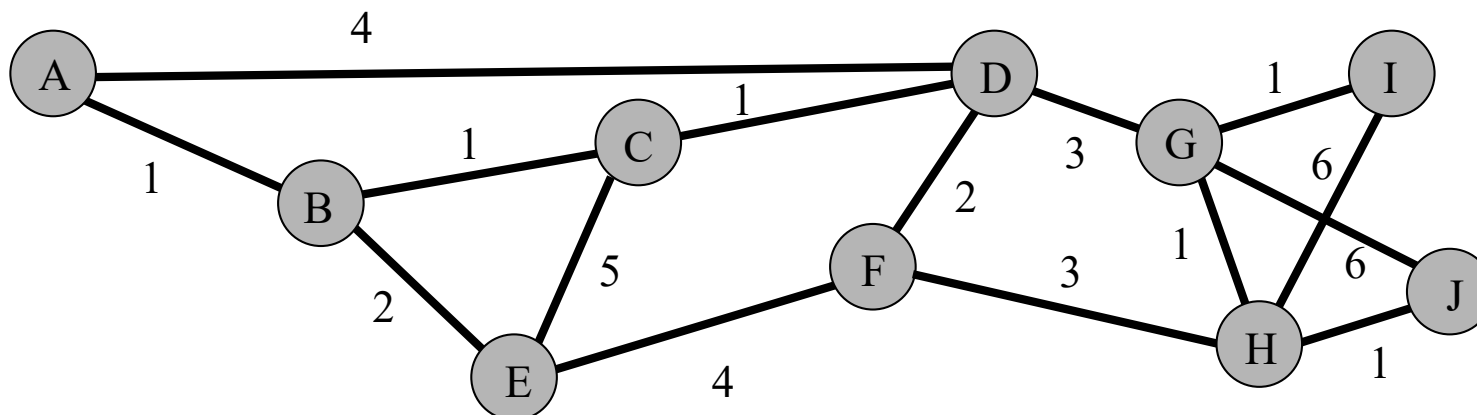
Cálculo mediante tabla

- $h = 5$

$$L_{h+1}(n) = \min_{j \in N} [L_h(j) + w(j, n)]$$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8

$$L_5(J) = \min_{j \in N} [L_4(j) + w(j, J)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, 7 + 6, 7 + 1, 9 + \infty, 8 + 0] = 8$$

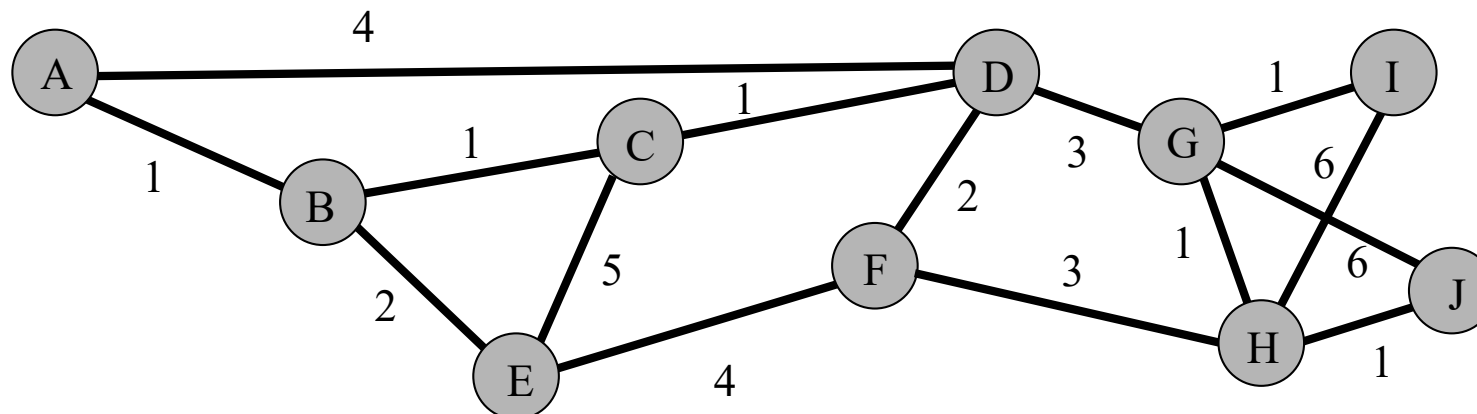


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3									

$$L_6(A) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, A)] = \min[3 + 0, 2 + 1, 3 + \infty, 4 + 4, 0 + \infty, 4 + \infty, 7 + \infty, 7 + \infty, 9 + \infty, 8 + \infty] = 3$$

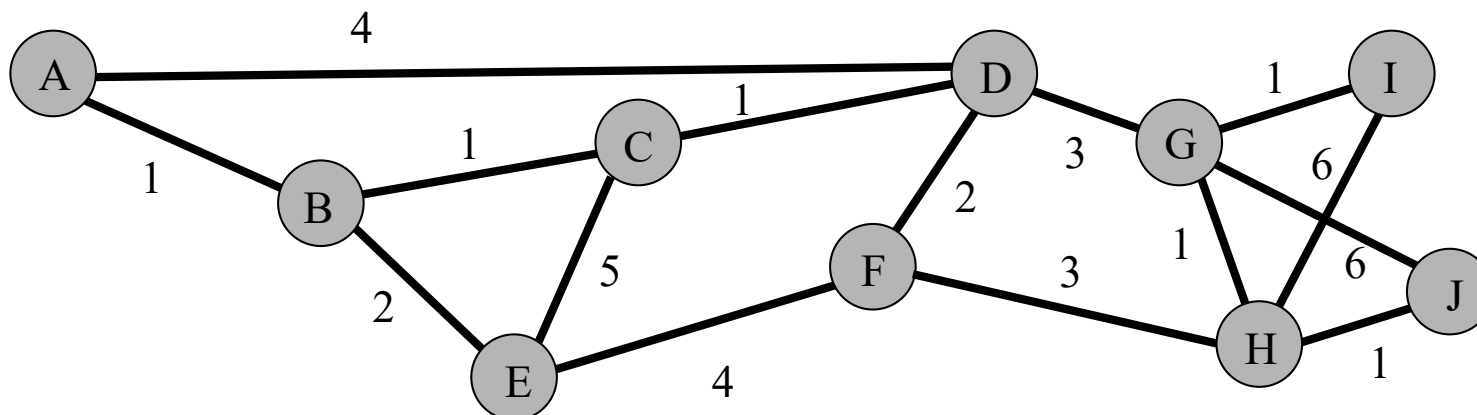


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2								

$$L_6(B) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, B)] = \min[3 + 1, 2 + 0, 3 + 1, 4 + \infty, 0 + 2, 4 + \infty, 7 + \infty, 7 + \infty, 9 + \infty, 8 + \infty] = 2$$

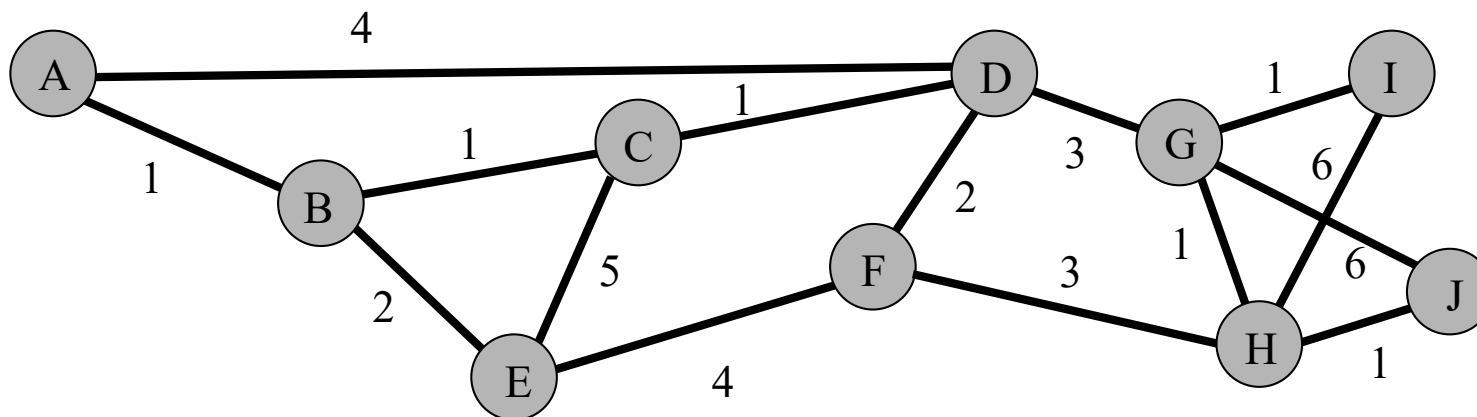


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2	3							

$$L_6(C) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, C)] = \min[3 + \infty, 2 + 1, 3 + 0, 4 + 1, 0 + 5, 4 + \infty, 7 + \infty, 7 + \infty, 9 + \infty, 8 + \infty] = 3$$

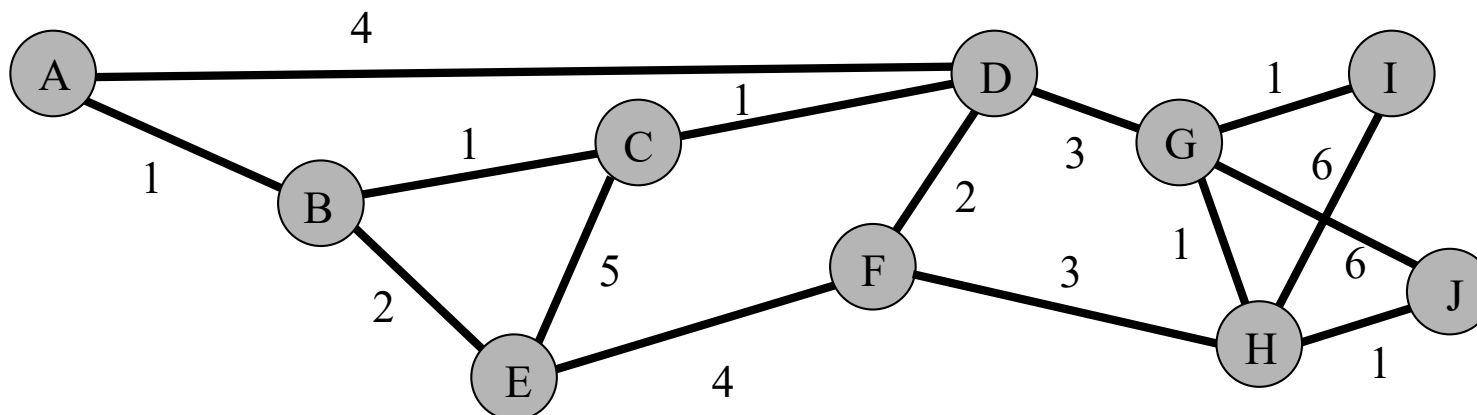


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2	3	4						

$$L_6(D) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, D)] = \min[3 + 4, 2 + \infty, 3 + 1, 4 + 0, 0 + \infty, 4 + 2, 7 + 3, 7 + \infty, 9 + \infty, 8 + \infty] = 4$$

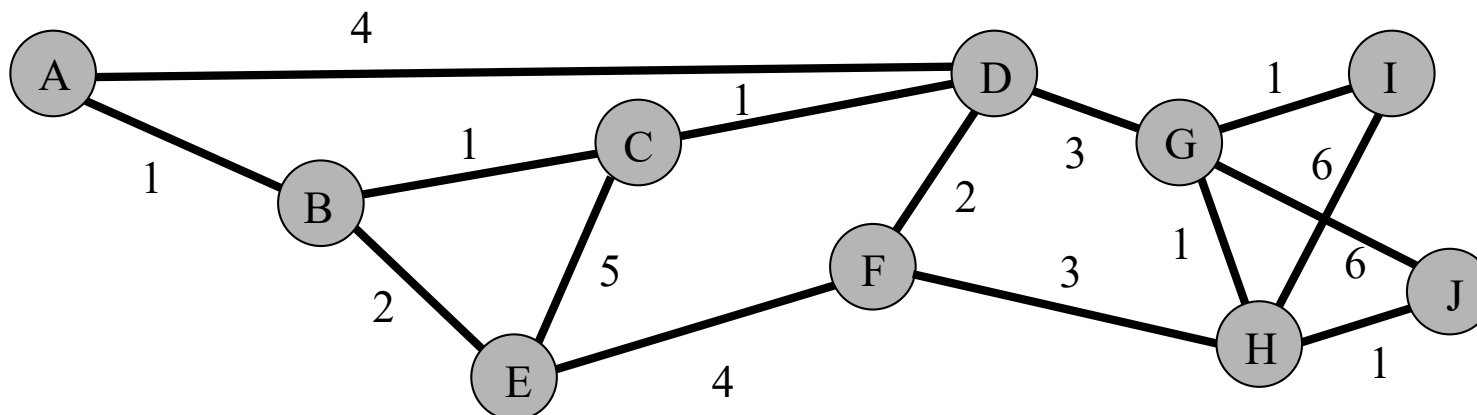


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2	3	4	0	4				

$$L_6(F) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, F)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + 2, 0 + 4, 4 + 0, 7 + \infty, 7 + 3, 9 + \infty, 8 + \infty] = 4$$

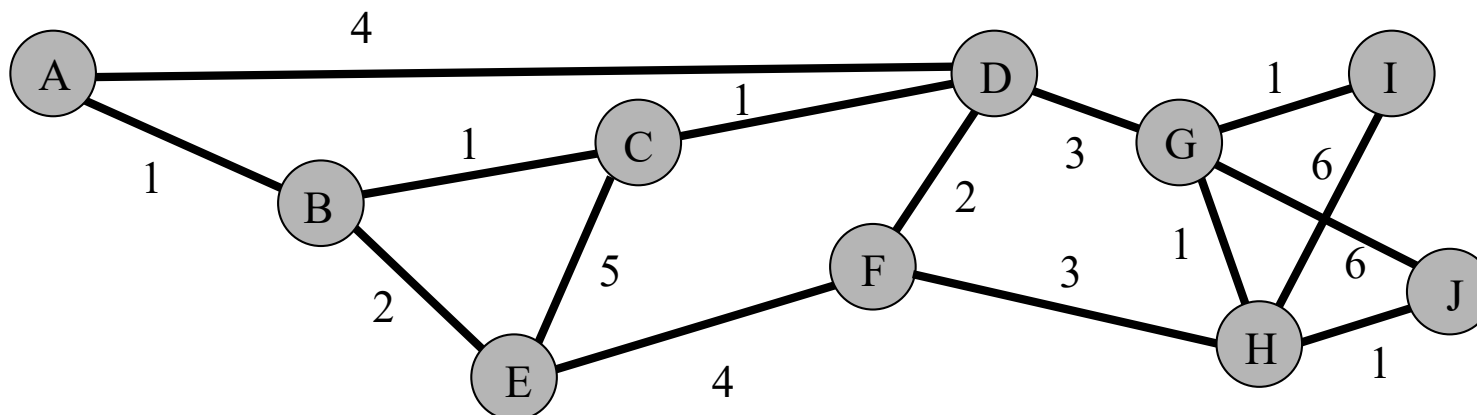


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2	3	4	0	4	7			

$$L_6(G) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, G)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + 3, 0 + \infty, 4 + \infty, 7 + 0, 7 + 1, 9 + 1, 8 + \infty] = 7$$

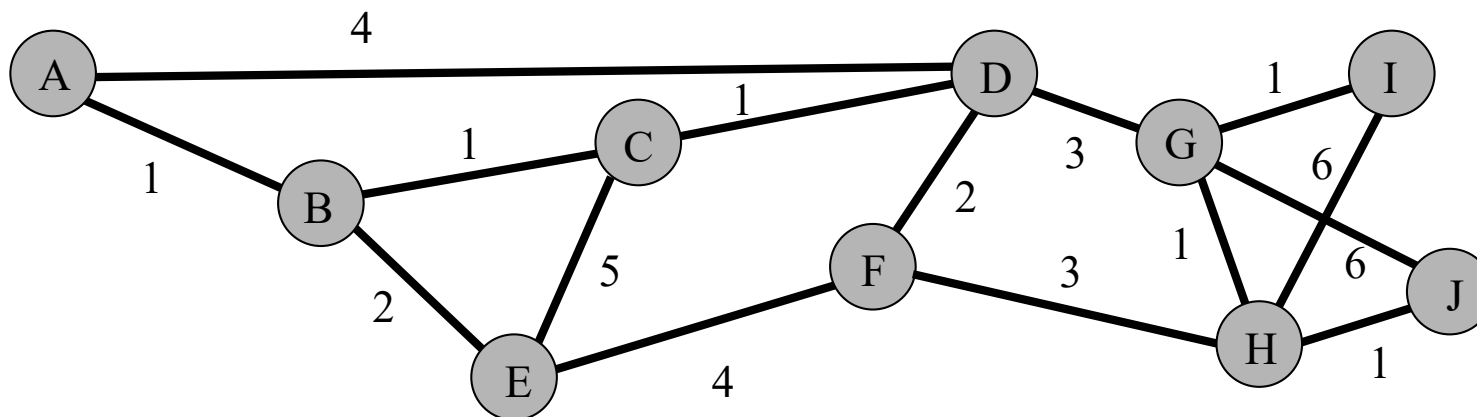


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2	3	4	0	4	7	7		

$$L_6(H) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, H)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + 3, 7 + 1, 7 + 0, 9 + 6, 8 + 1] = 7$$

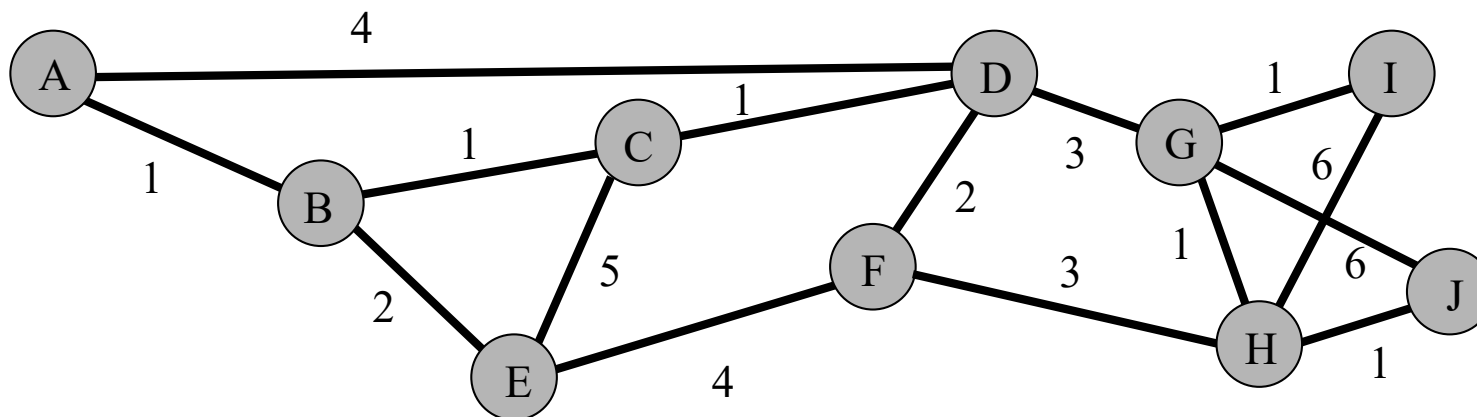


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2	3	4	0	4	7	7	8	

$$L_6(I) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, I)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, 7 + 1, 7 + 6, 9 + 0, 8 + \infty] = 8$$

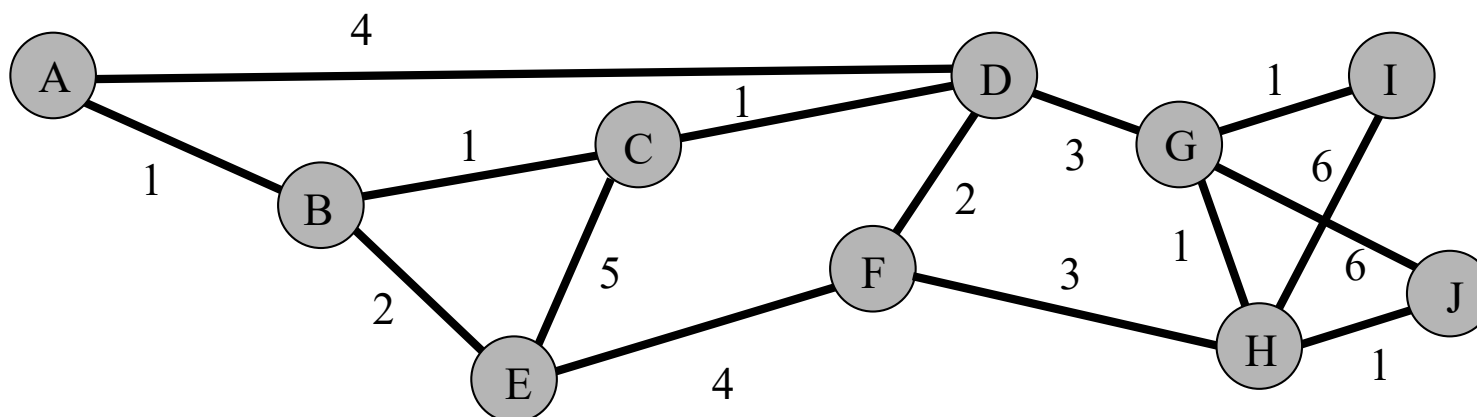


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8

$$L_6(J) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, J)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, 4 + \infty, 7 + 6, 7 + 1, 8 + \infty, 8 + 1] = 8$$

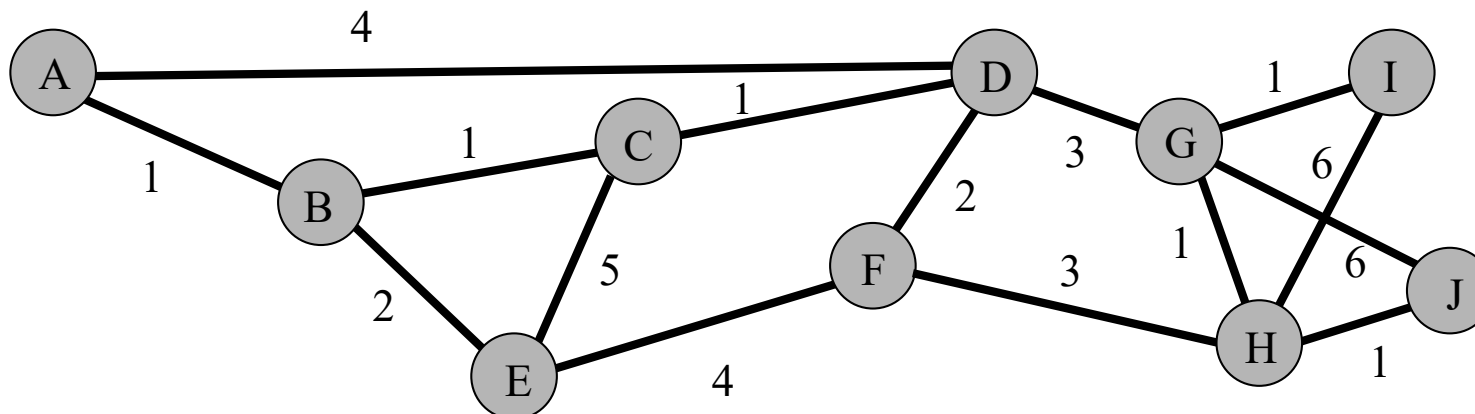


Cálculo mediante tabla

- $h = 6$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2	5	∞	0	4	∞	∞	∞	∞
2	3	2	3	6	0	4	∞	7	∞	∞
3	3	2	3	4	0	4	8	7	13	8
4	3	2	3	4	0	4	7	7	9	8
5	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8
6	3	2	3	4	0	4	7	7	8	8

- No ha habido cambios respecto al paso anterior ni los habrá
- Resultado final (para este origen, repetir con el resto como origen)



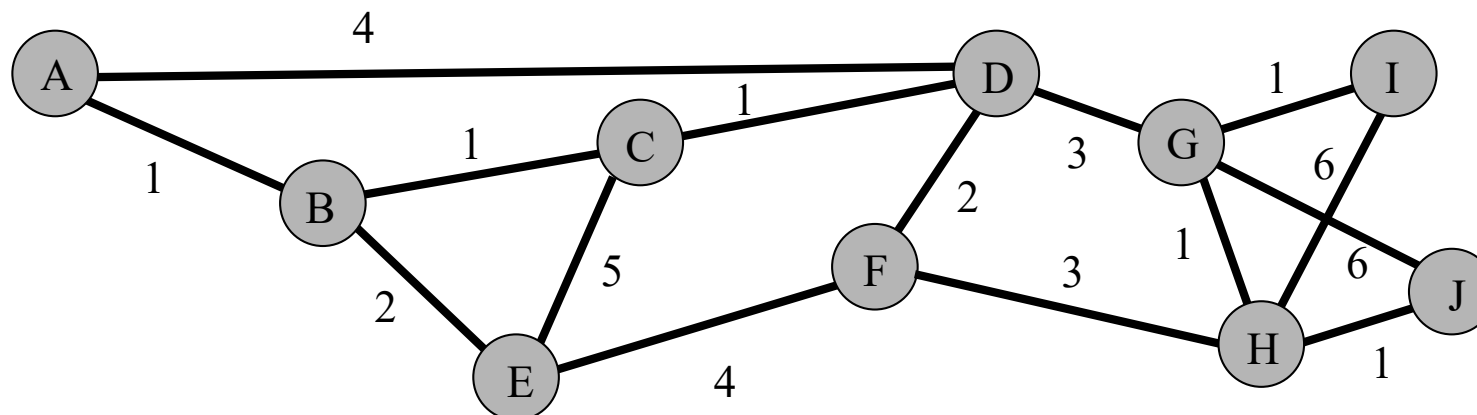
Bellman-Ford : Sucesores

Sucesores

- En cada paso teníamos no solo el coste sino también podíamos guardar el siguiente salto (el sucesor o next-hop)
- Esto nos da la “tabla de rutas” para el nodo E, conteniendo para cada destino un siguiente salto (y un coste que es el mínimo encontrado)
- Debemos repetirlo para cada nodo origen

Node 1 directory

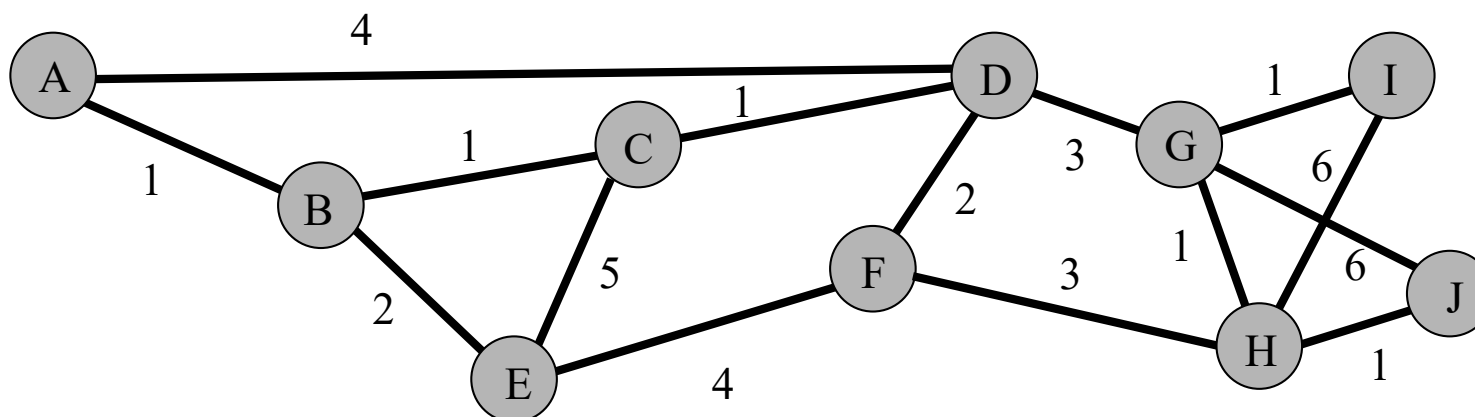
Destination	Next node
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4



Sucesores

- En cada celda “Coste : Sucesor” (sucesor = siguiente salto al destino)

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2 : B	5 : C	∞	0	4 : F	∞	∞	∞	∞
2	3 : B	2 : B	3 : B	6 : F	0	4 : F	∞	7 : F	∞	∞
3	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	8 : F	7 : F	13 : F	8 : F
4	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	9 : F	8 : F
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F

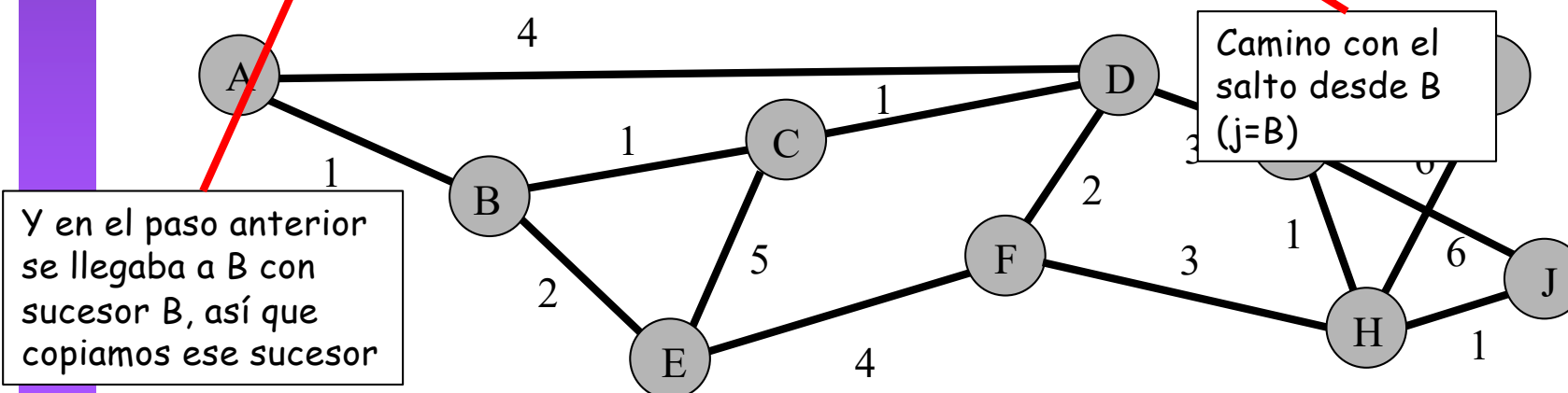


Sucesores : Ejemplos

- Por ejemplo, cálculo a C con $h=2$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2 : B	5 : C	∞	0	4 : F	∞	∞	∞	∞
2	3 : B	2 : B	3 : B	6 : F	0	4 : F	∞	7 : F	∞	∞
3	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	8 : F	7 : F	13 : F	8 : F
4	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	9 : F	8 : F
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F

$$L_2(C) = \min_{j \in N} [L_1(j) + w(j, C)] = \min[\infty + \infty, \mathbf{2 + 1}, 5 + 0, \infty + 1, 0 + 5, 4 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty] = 3$$

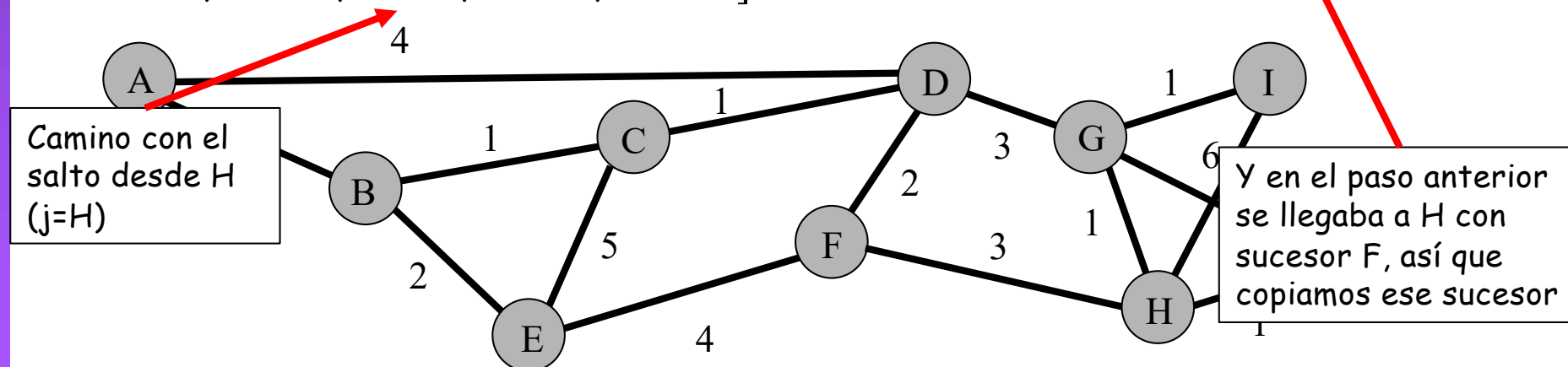


Sucesores : Ejemplos

- Otro ejemplo, cálculo a G con $h=3$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h		A	B	C	D	E	F	G	H	J
0		∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞
1		∞	2 : B	5 : C	∞	0	4 : F	∞	∞	∞
2		3 : B	2 : B	3 : B	6 : F	0	4 : F	∞	7 : F	∞
3		3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	8 : F	7 : F	13 : F
4		3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	9 : F
5		3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B

$$L_3(G) = \min_{j \in N} [L_2(j) + w(j, G)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 6 + 3, 0 + \infty, 4 + \infty, \infty + 0, \mathbf{7 + 1}, \infty + 1, \infty + \infty] = 8$$

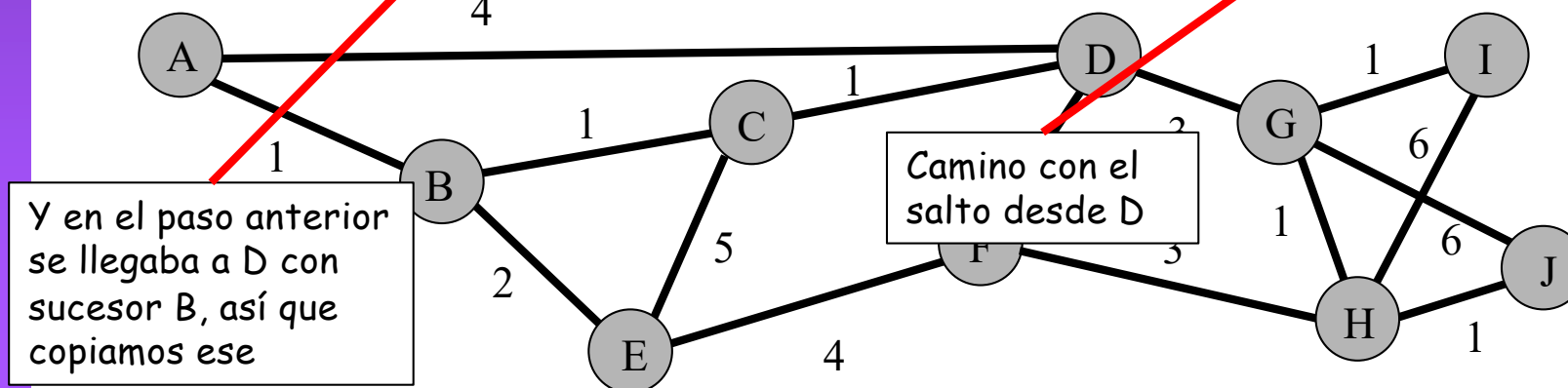


Sucesores : Ejemplos

- Cambio de cálculo de camino a G en el siguiente paso, con $h=4$

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	2 : B	5 : C	∞	0	4 : F	∞	∞	∞	∞
2	3 : B	2 : B	3 : B	6 : F	0	4 : F	∞	7 : F	∞	∞
3	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	8 : F	7 : F	13 : F	8 : F
4	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	9 : F	8 : F
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F

$$L_4(G) = \min_{j \in N} [L_3(j) + w(j, G)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + 3, 0 + \infty, 4 + \infty, 8 + 0, 7 + 1, 13 + 1, 8 + 6] = 7$$



Bellman-Ford centralizado continuo

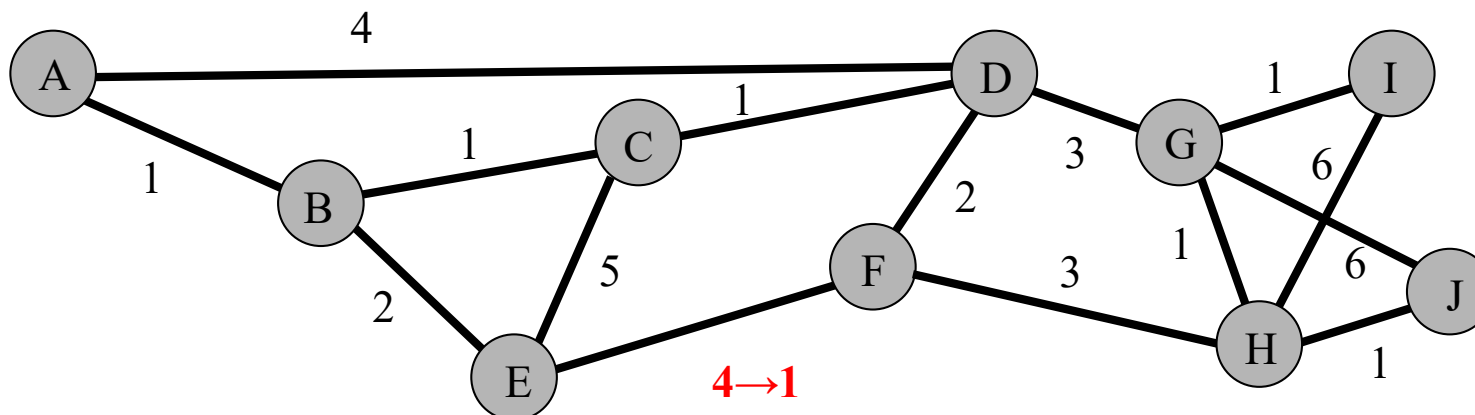
Cálculo continuo

- Puede haber cambios en los costes
- Pueden aparecer o desaparecer enlaces
- Pueden aparecer o desaparecer nodos
- Ante cambios se recalcula

Ejemplo

- Cambio de coste en un enlace

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h		A	B	C	D	E	F	G	H	J
5		3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B
6										

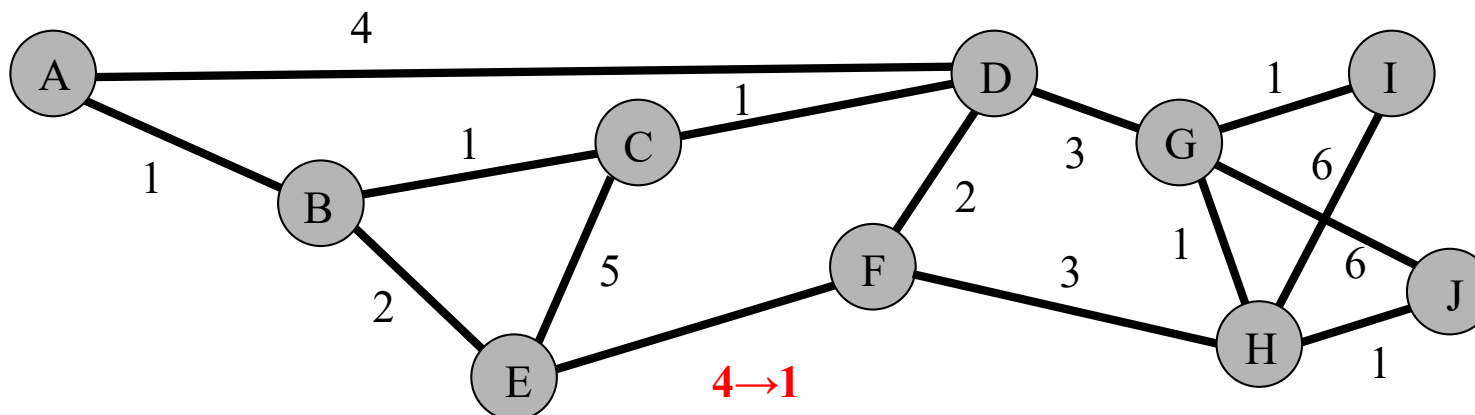


Ejemplo

- Cambia solo el coste a F en la primera iteración

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
6	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	1 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F

$$L_6(F) = \min_{j \in N} [L_5(j) + w(j, F)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + 2, \mathbf{0 + 1}, 4 + 0, 7 + \infty, 7 + 3, 8 + \infty, 8 + \infty] = 1$$

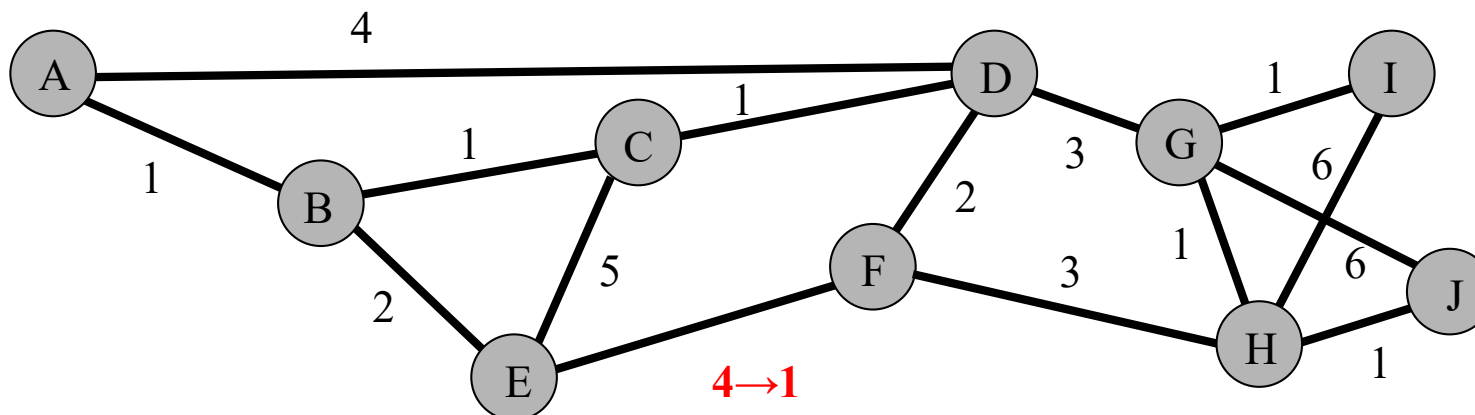


Ejemplo

- Se propaga el cambio para encontrar un nuevo camino hasta D con sucesor F

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
6	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	1 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
7				3 : F						

$$L_7(D) = \min_{j \in N} [L_6(j) + w(j, D)] = \min[3 + 4, 2 + \infty, 3 + 1, 4 + 0, 0 + \infty, \mathbf{1 + 2}, 7 + 3, 7 + \infty, 8 + \infty, 8 + \infty] = 3$$

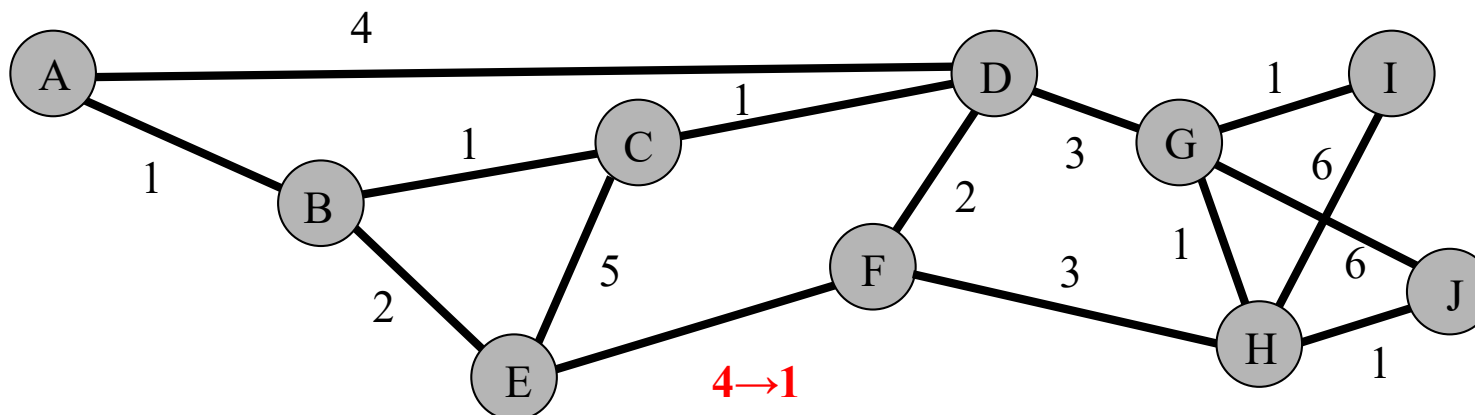


Ejemplo

- Y un nuevo camino hasta H

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
6	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	1 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
7				3 : F				4 : F		

$$L_7(H) = \min_{j \in N} [L_6(j) + w(j, H)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 4 + \infty, 0 + \infty, \mathbf{1 + 3}, 7 + 1, 7 + 0, 8 + 6, 8 + 1] = 4$$

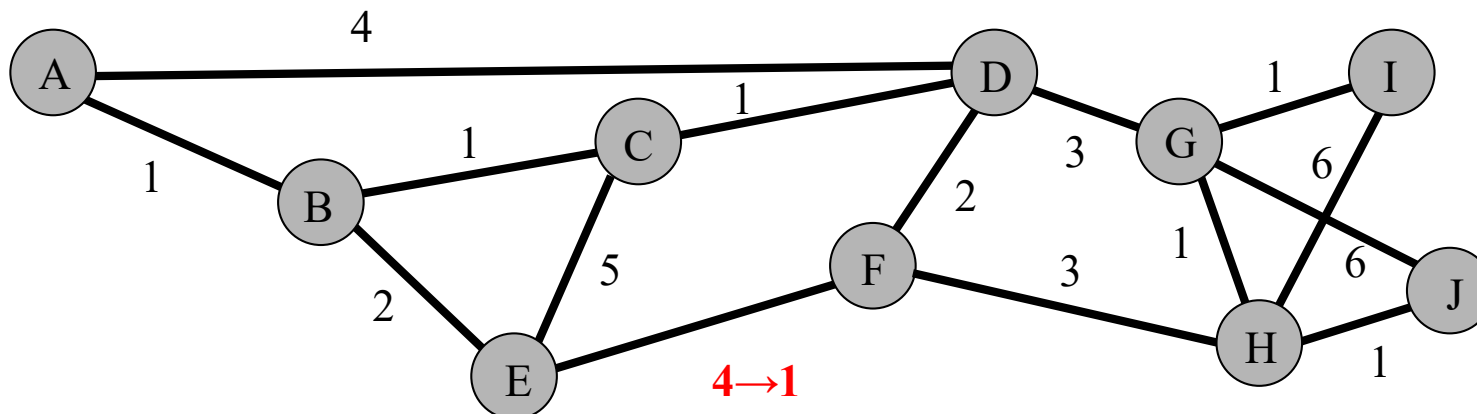


Ejemplo

- Se propaga el cambio...

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
6	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	1 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
7	3 : B	2 : B	3 : B	3 : F	0	1 : F	7 : B	4 : F	8 : B	8 : F
8							5 : F			

$$L_8(G) = \min_{j \in N} [L_7(j) + w(j, G)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 3 + 3, 0 + \infty, 1 + \infty, 7 + 0, \mathbf{4 + 1}, 8 + 1, 8 + 6] = 5$$

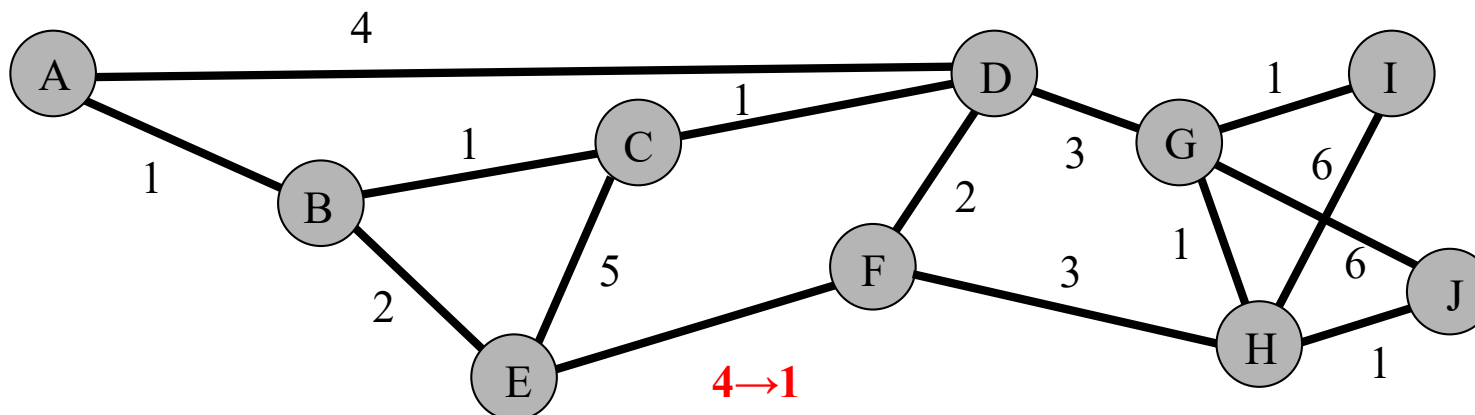


Ejemplo

- Se propaga el cambio...

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
6	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	1 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
7	3 : B	2 : B	3 : B	3 : F	0	1 : F	7 : B	4 : F	8 : B	8 : F
8							5 : F			5 : F

$$L_8(J) = \min_{j \in N} [L_7(j) + w(j, J)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 3 + 3, 0 + \infty, 1 + \infty, 7 + 6, \mathbf{4 + 1}, 8 + \infty, 8 + 0] = 5$$

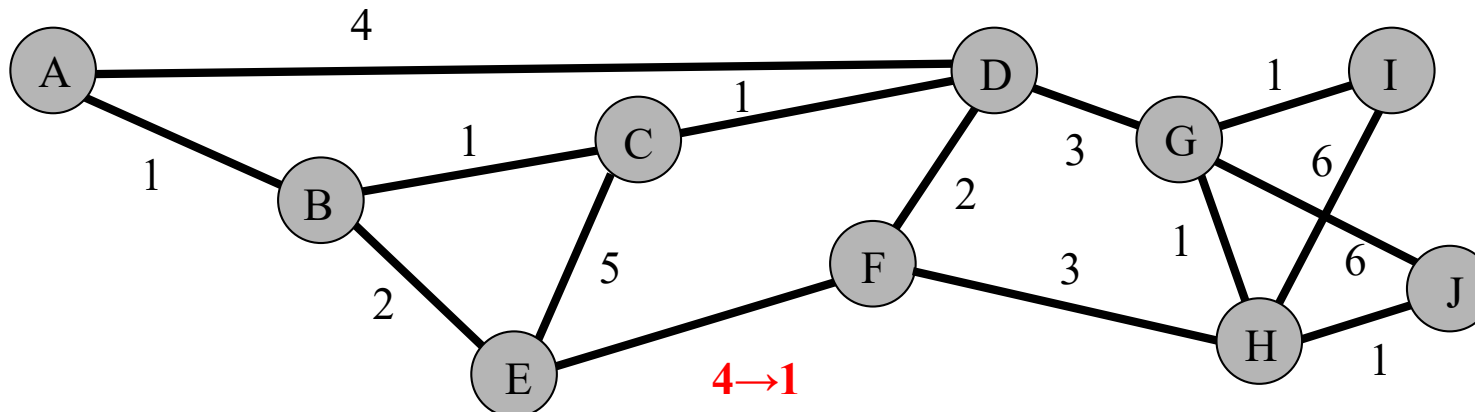


Ejemplo

- Se propaga el cambio...

Desde nodo E		Destinos $L_h(n)$								
h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
5	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	4 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
6	3 : B	2 : B	3 : B	4 : B	0	1 : F	7 : B	7 : F	8 : B	8 : F
7	3 : B	2 : B	3 : B	3 : F	0	1 : F	7 : B	4 : F	8 : B	8 : F
8	3 : B	2 : B	3 : B	3 : F	0	1 : F	5 : F	4 : F	8 : B	5 : F
9									6 : F	

$$L_9(I) = \min_{j \in N} [L_8(j) + w(j, I)] = \min[3 + \infty, 2 + \infty, 3 + \infty, 3 + \infty, 0 + \infty, 1 + \infty, \mathbf{5 + 1}, 4 + 6, 8 + 0, 5 + \infty] = 6$$



Bellman-Ford distribuido

Distribuido vs Centralizado

- Centralizado:
 - Requiere que algún nodo conozca todo el grafo
 - Y se comuniquen con los nodos (conmutadores) para configurar las tablas de reenvío
 - Y que sea notificado de cambios
 - Si ese equipo falla no tenemos actualizaciones de esas tablas
- Distribuido:
 - La inteligencia estará en los propios nodos
 - Algoritmos más complejos
 - Más difícil demostrar que vayan a converger a la solución deseada
 - Menos frágil ante fallos de equipos

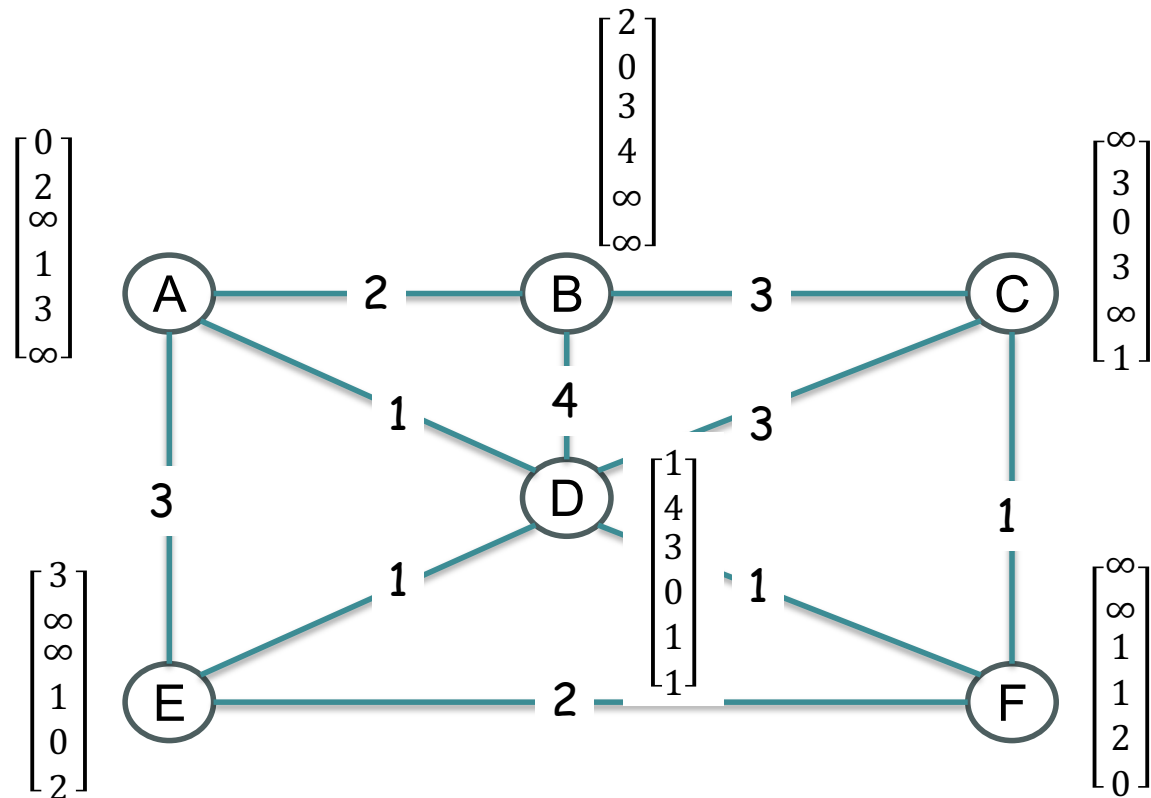
Detalles, detalles...

- La información se propaga a medida que los vectores actualizados se envían a vecinos
- Mientras se propaga puede haber cálculos inconsistentes
- Pueden ser envíos periódicos o “triggered updates”: envío cuando ha cambiado el vector
- Aunque esto puede producir ráfagas de tráfico de este mecanismo
- ¿Se pueden perder estos envíos?
- Un aumento de coste en un enlace debe aprenderse, aunque empeore el coste total (si viene del mismo sucesor)
- Si un destino desaparece pueden tardar los nodos en descubrir que es inalcanzable por creer encontrar ruta alternativa (cuentas a infinito)
- Veremos más detalle al ver protocolos concretos en otra asignatura (RIP, IGRP, EIGRP)

Bellman-Ford distribuido: Ejemplo

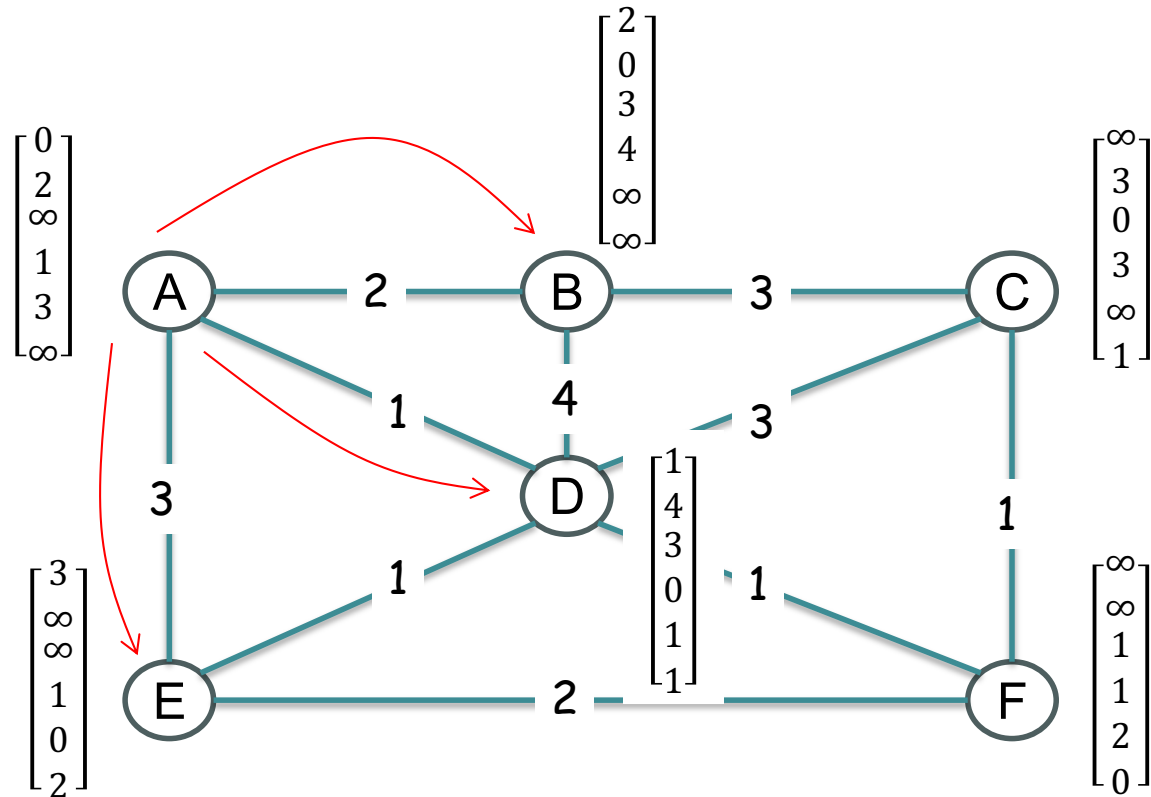
Bellman-Ford distribuido

- Envíos cada 30s
- Suponemos que A empieza en $t=0$, B en $t=1s$, C en $t=2s$, D en $t=3s$, E en $t=4s$ y F en $t=5s$
- Junto a cada uno su vector de distancias



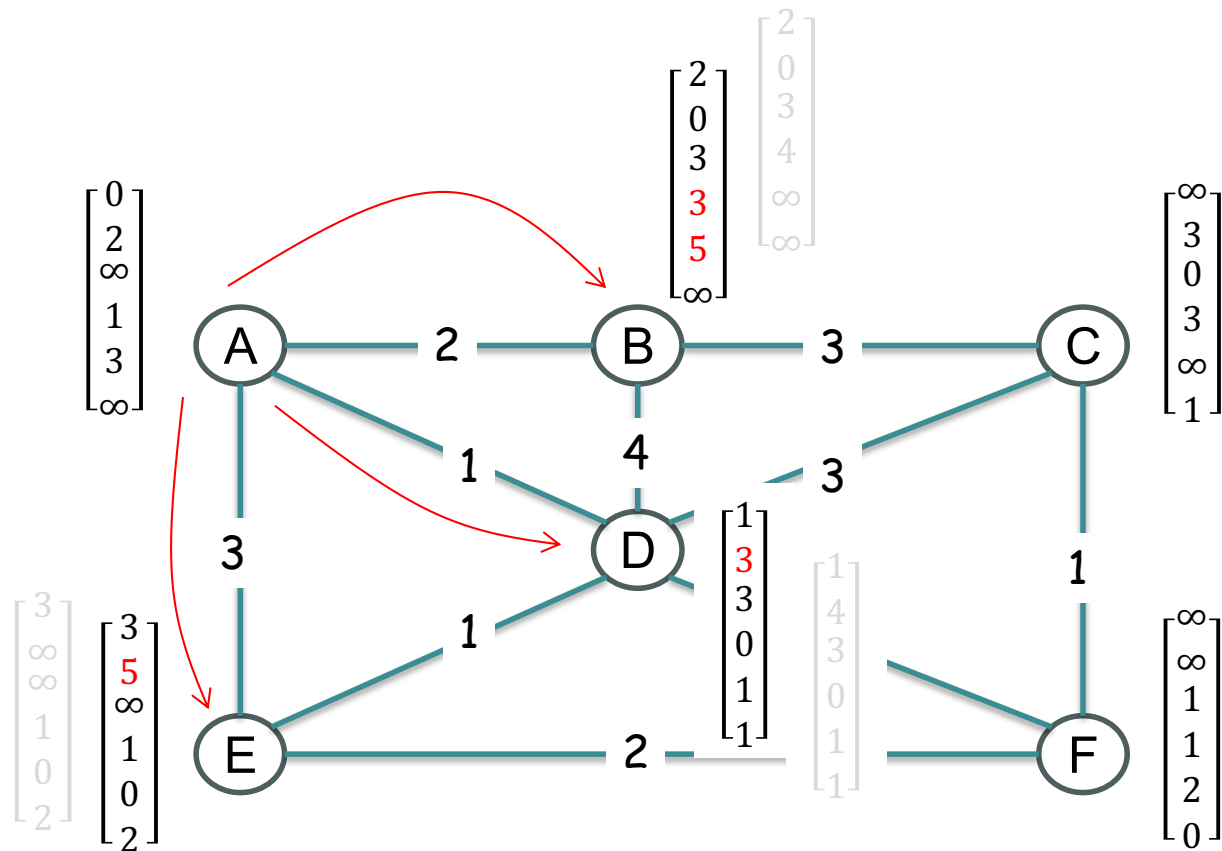
Bellman-Ford distribuido

- $t = 0$
 - A envía su vector, lo reciben B, D y E



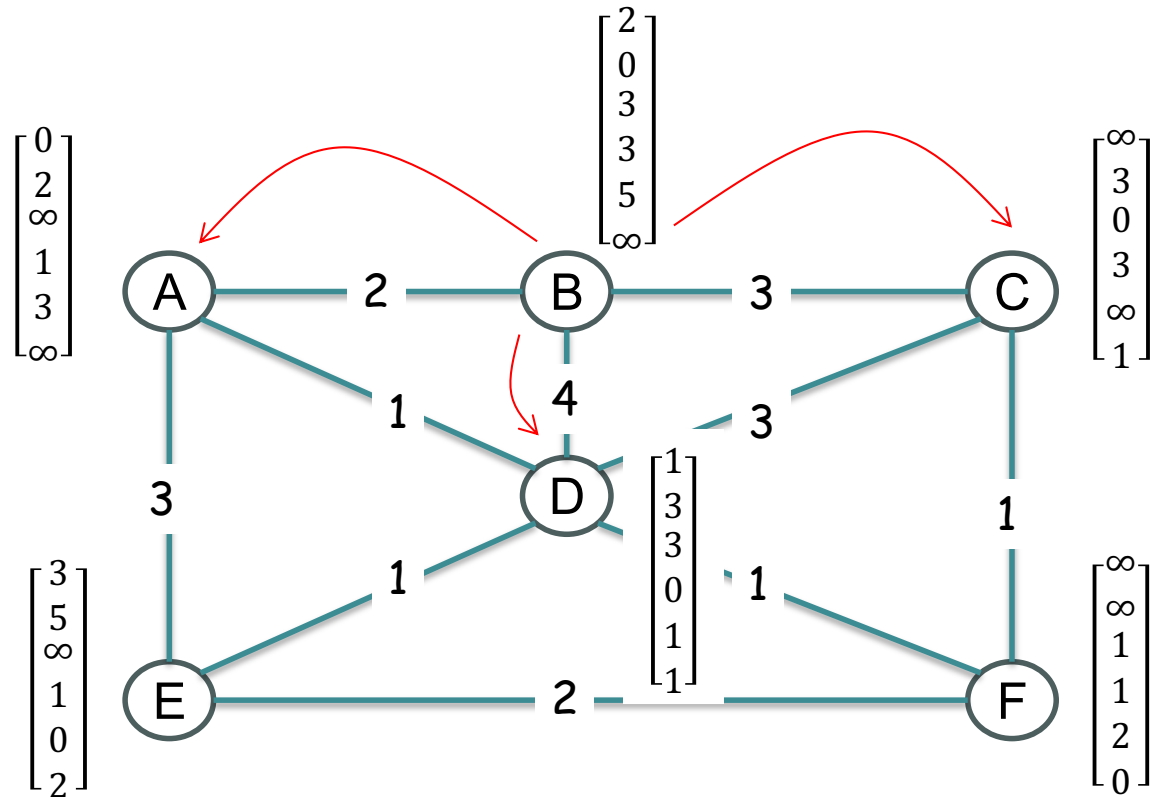
Bellman-Ford distribuido

- $t = 0$
 - A envía su vector, lo reciben B, D y E
 - B, D y E actualizan su vector de distancias



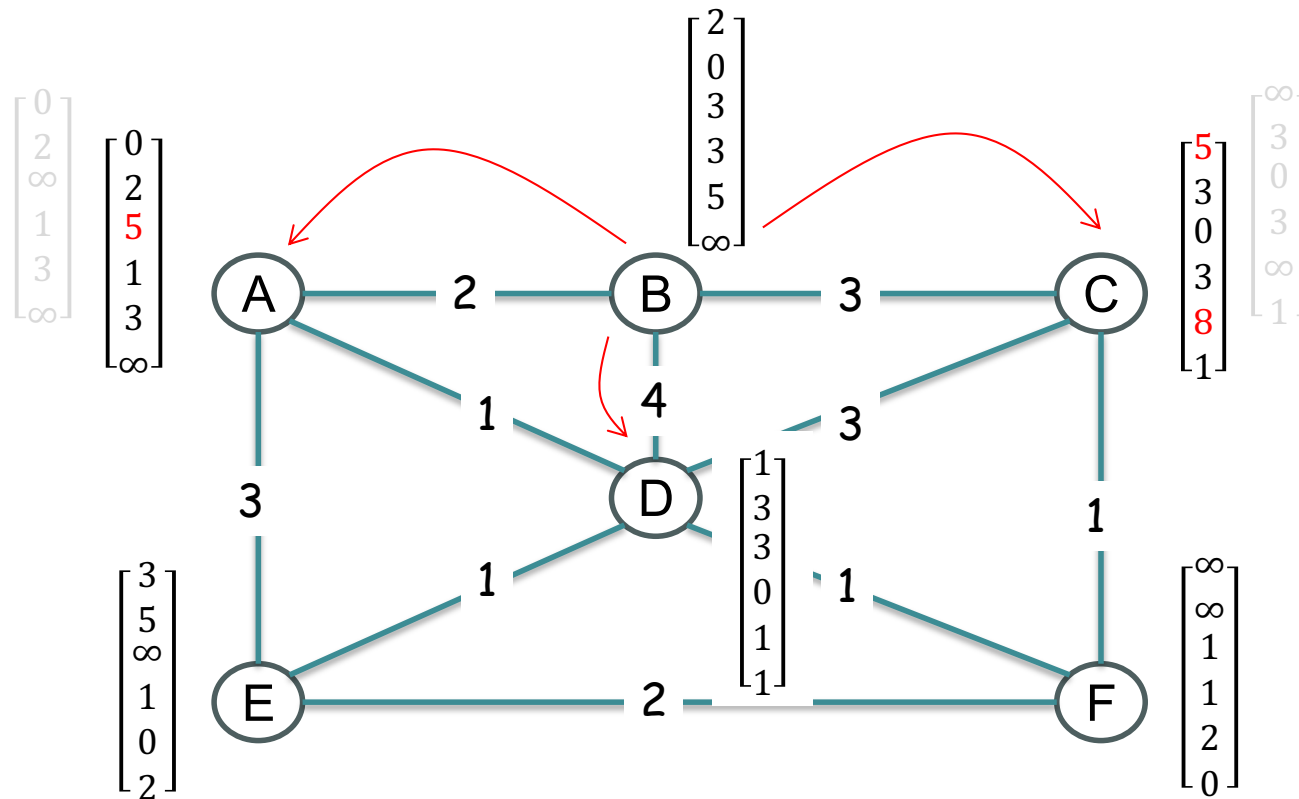
Bellman-Ford distribuido

- $t = 1s$
 - B envía su vector, lo reciben A, C y D



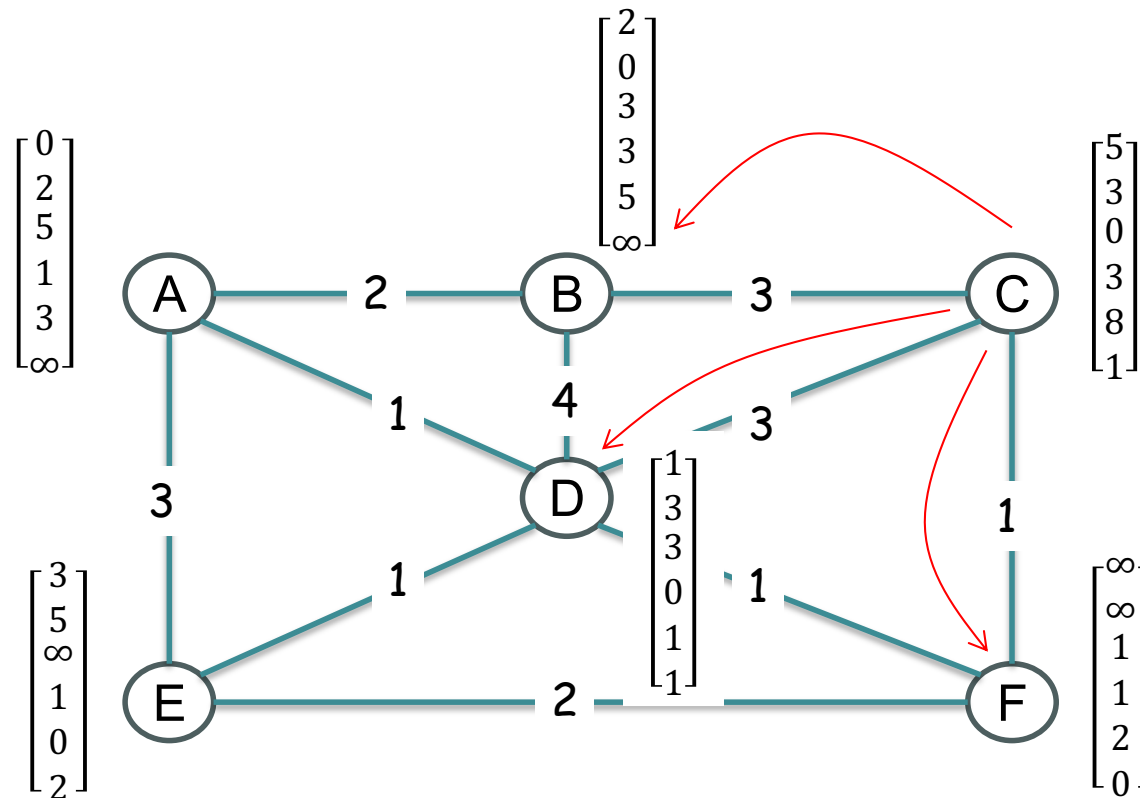
Bellman-Ford distribuido

- $t = 1s$
 - B envía su vector, lo reciben A, C y D
 - A, C y D actualizan su vector de distancias



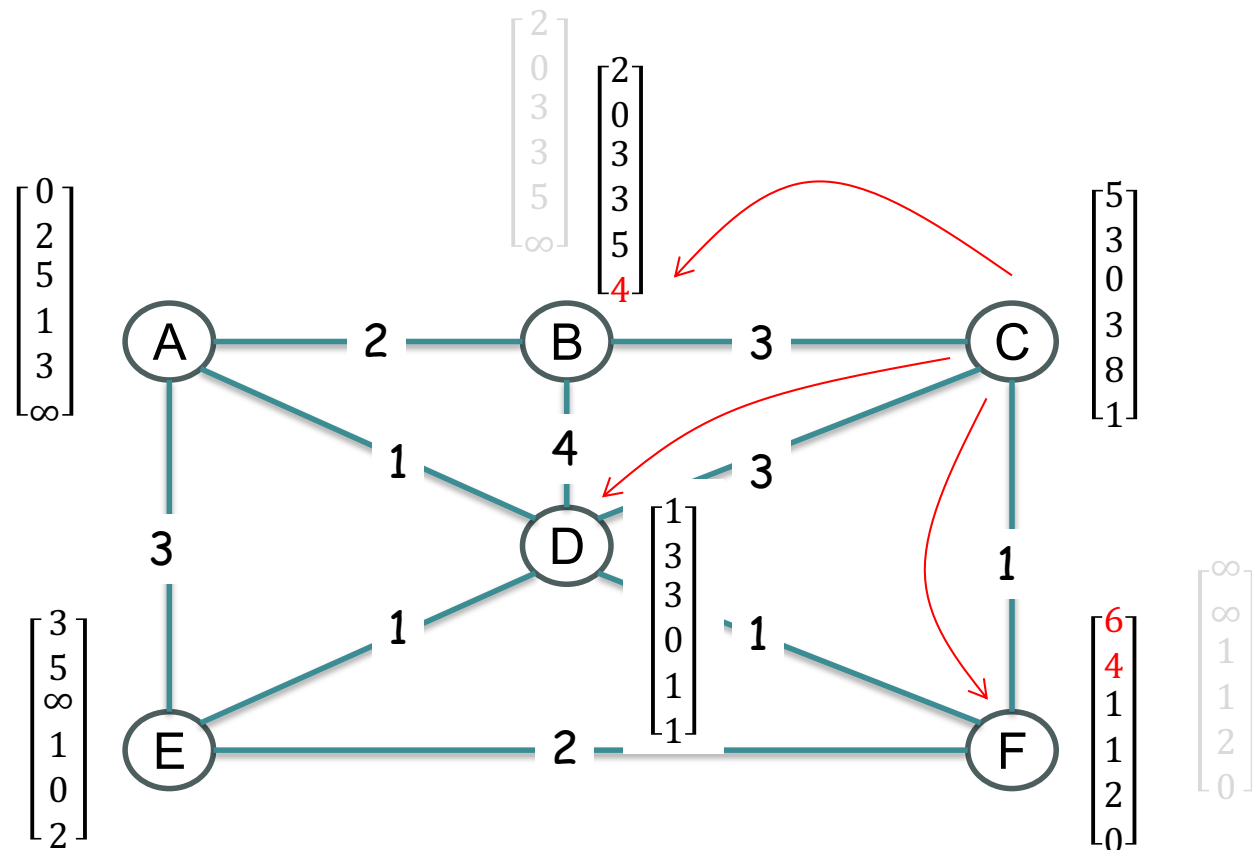
Bellman-Ford distribuido

- $t = 2s$
 - C envía su vector, lo reciben B, D y F



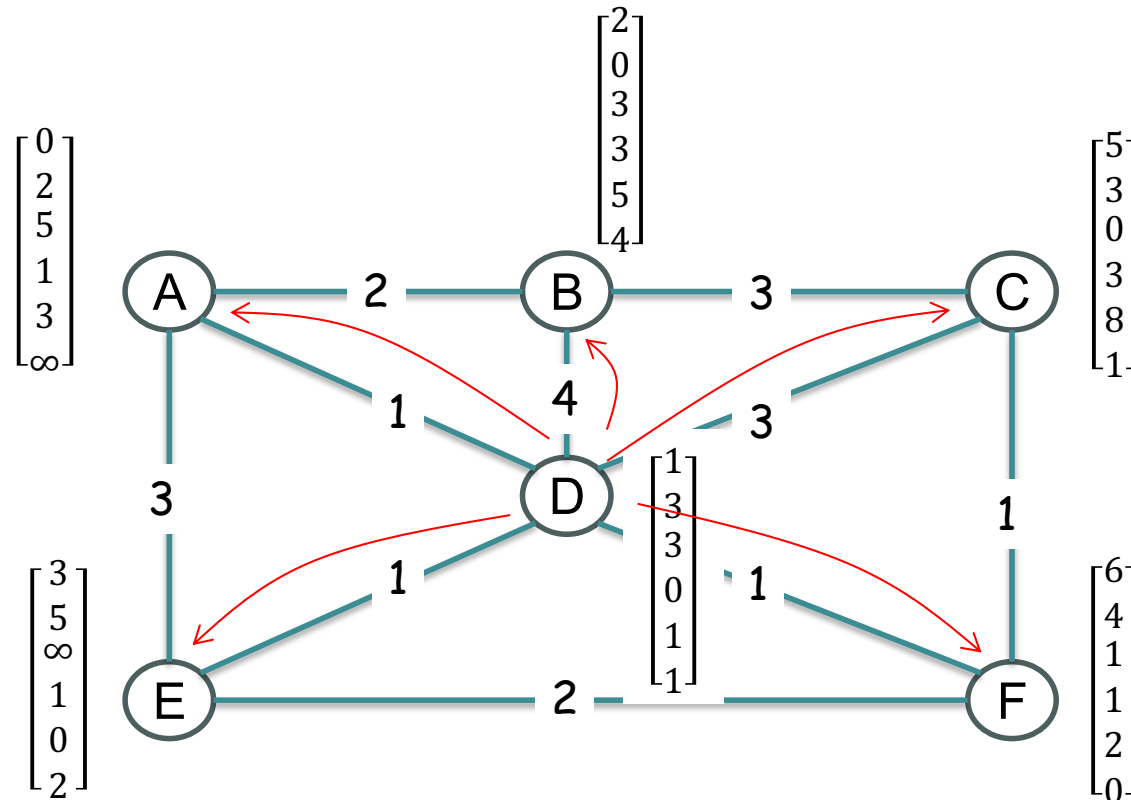
Bellman-Ford distribuido

- $t = 2s$
 - C envía su vector, lo reciben B, D y F
 - B, D y F actualizan su vector de distancias



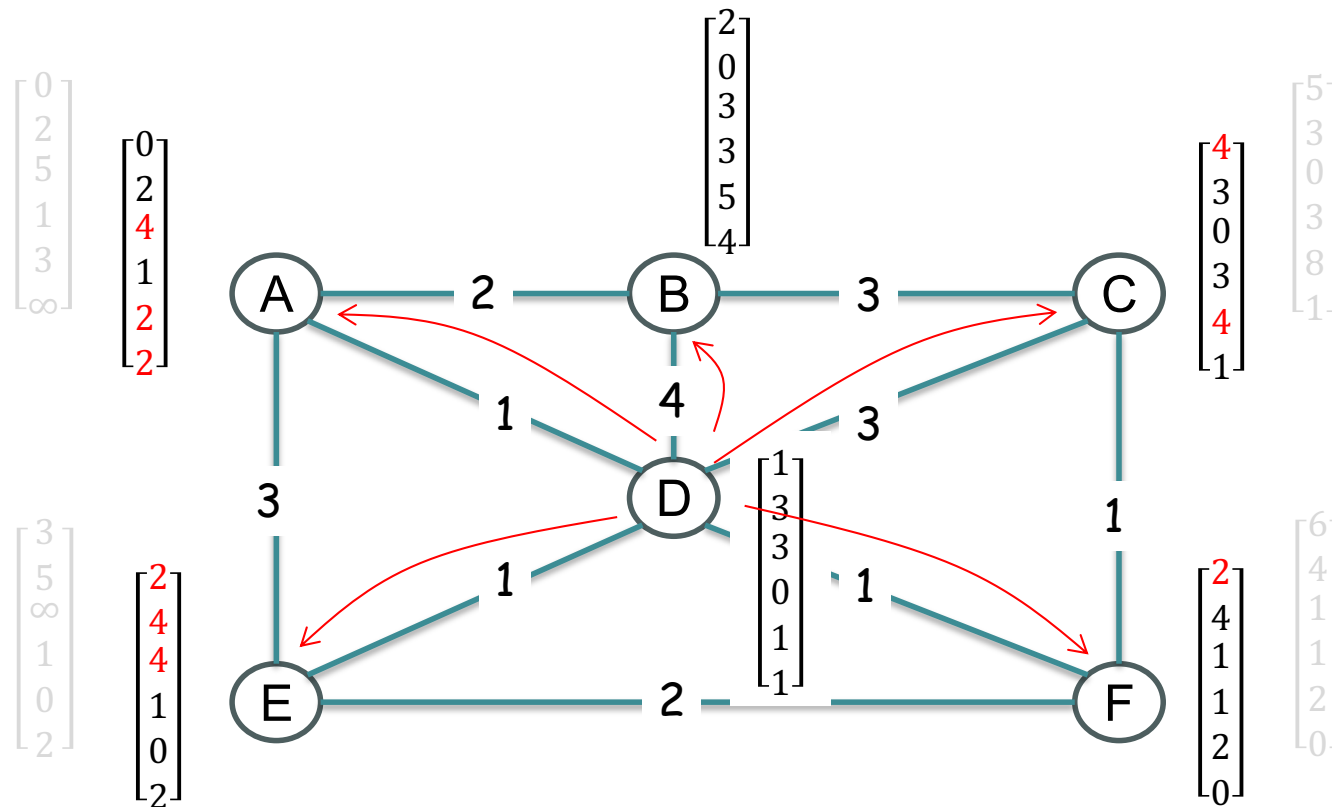
Bellman-Ford distribuido

- $t = 3s$
 - D envía su vector, lo reciben A, B, C, E y F



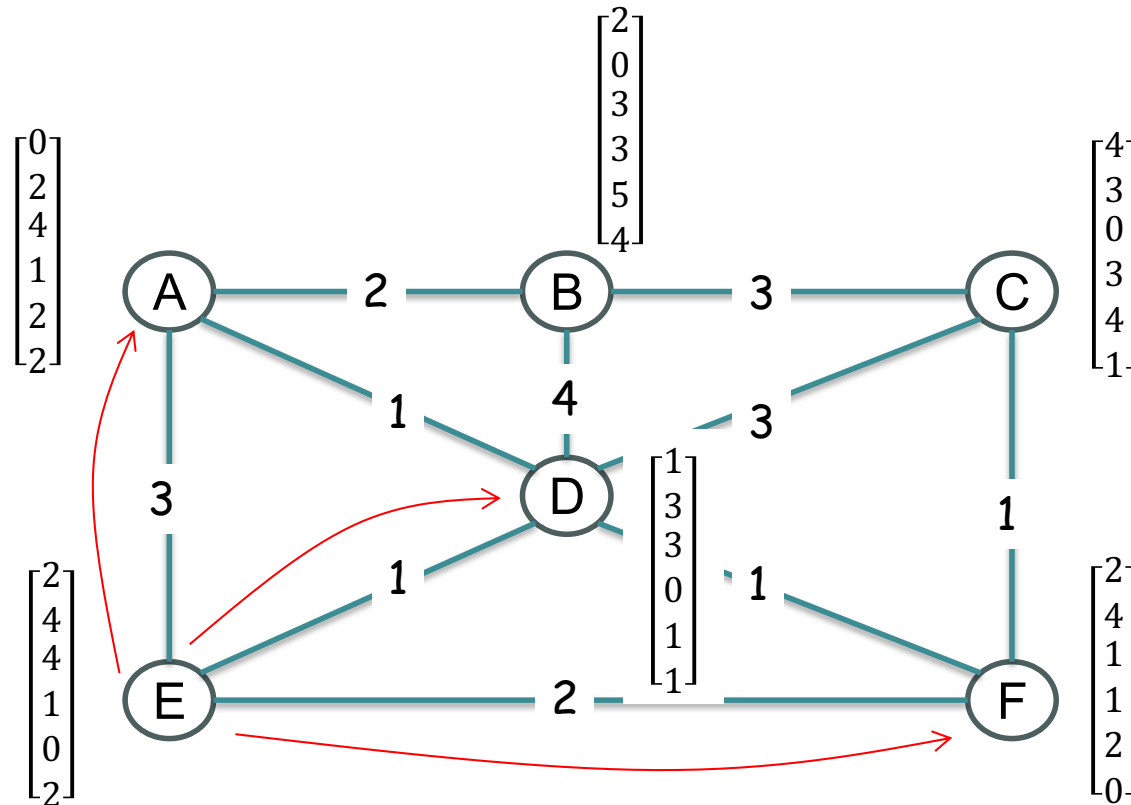
Bellman-Ford distribuido

- $t = 3s$
 - D envía su vector, lo reciben A, B, C, E y F
 - A, B, C, E y F actualizan su vector de distancias



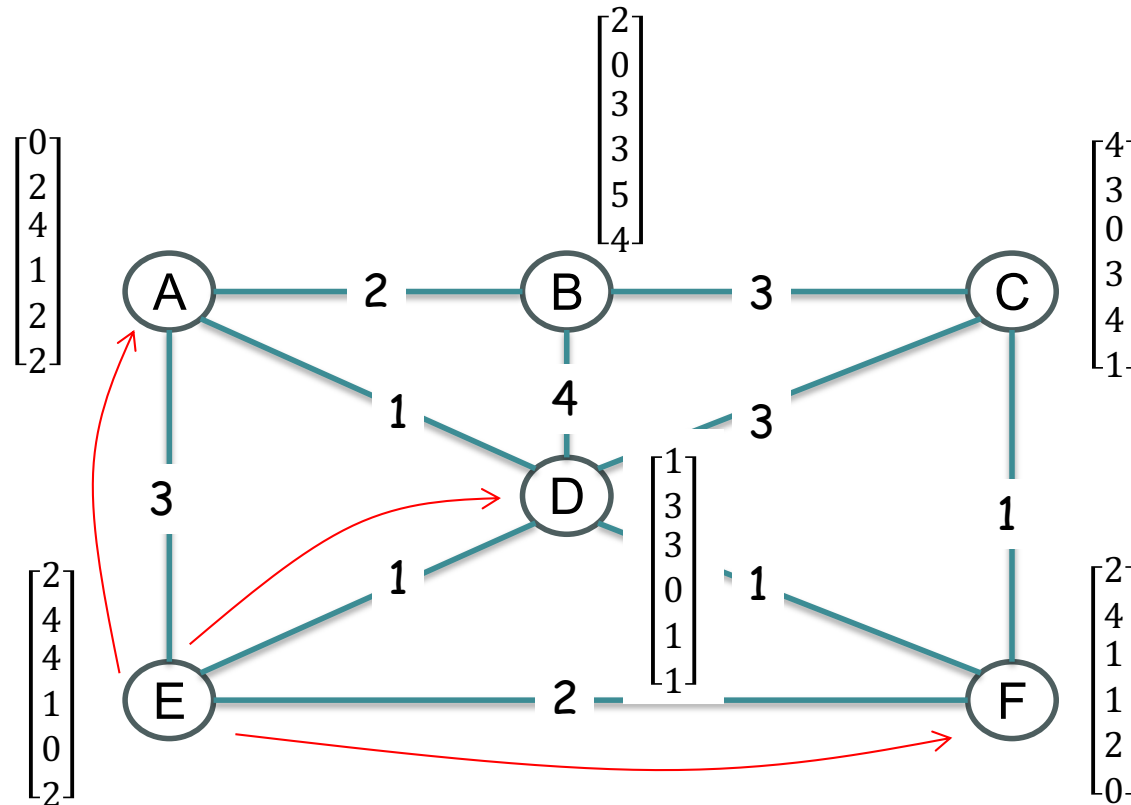
Bellman-Ford distribuido

- $t = 4s$
 - E envía su vector, lo reciben A, D y F



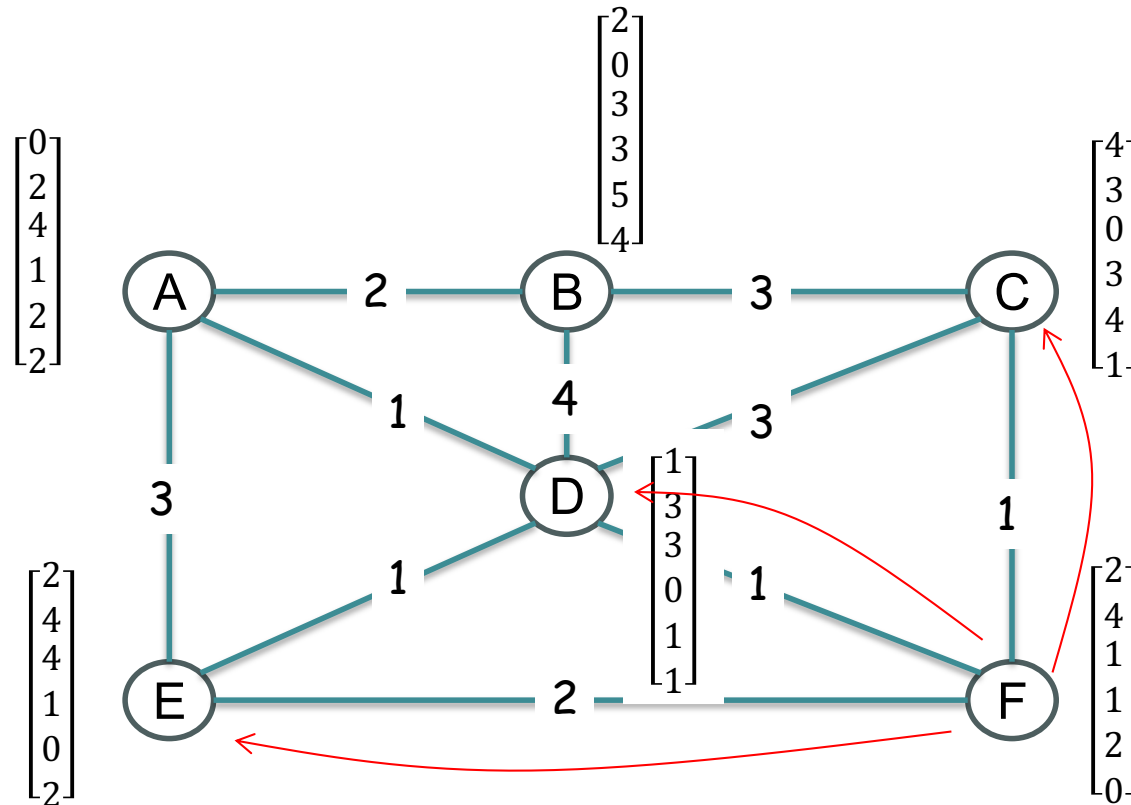
Bellman-Ford distribuido

- $t = 4s$
 - E envía su vector, lo reciben A, D y F
 - A, D y F actualizan su vector de distancias



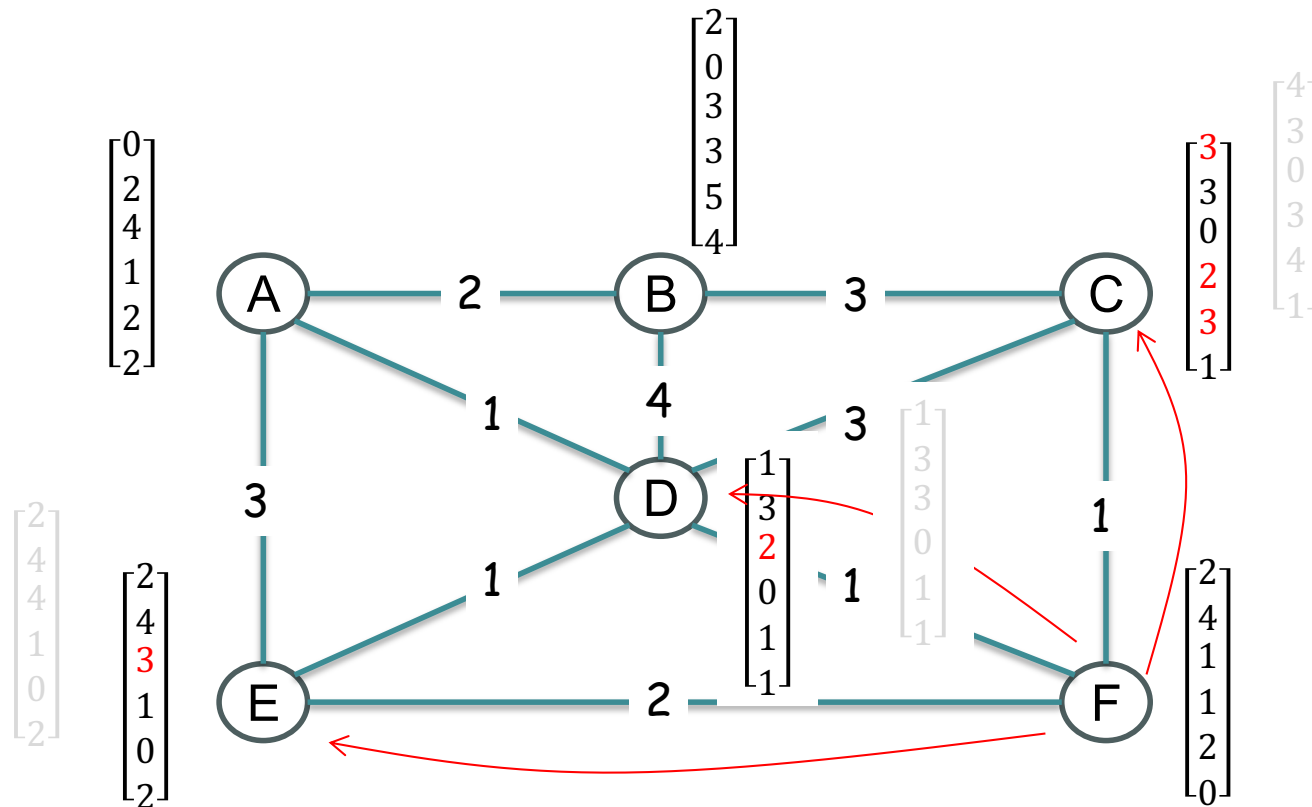
Bellman-Ford distribuido

- $t = 5s$
 - F envía su vector, lo reciben C, D y E



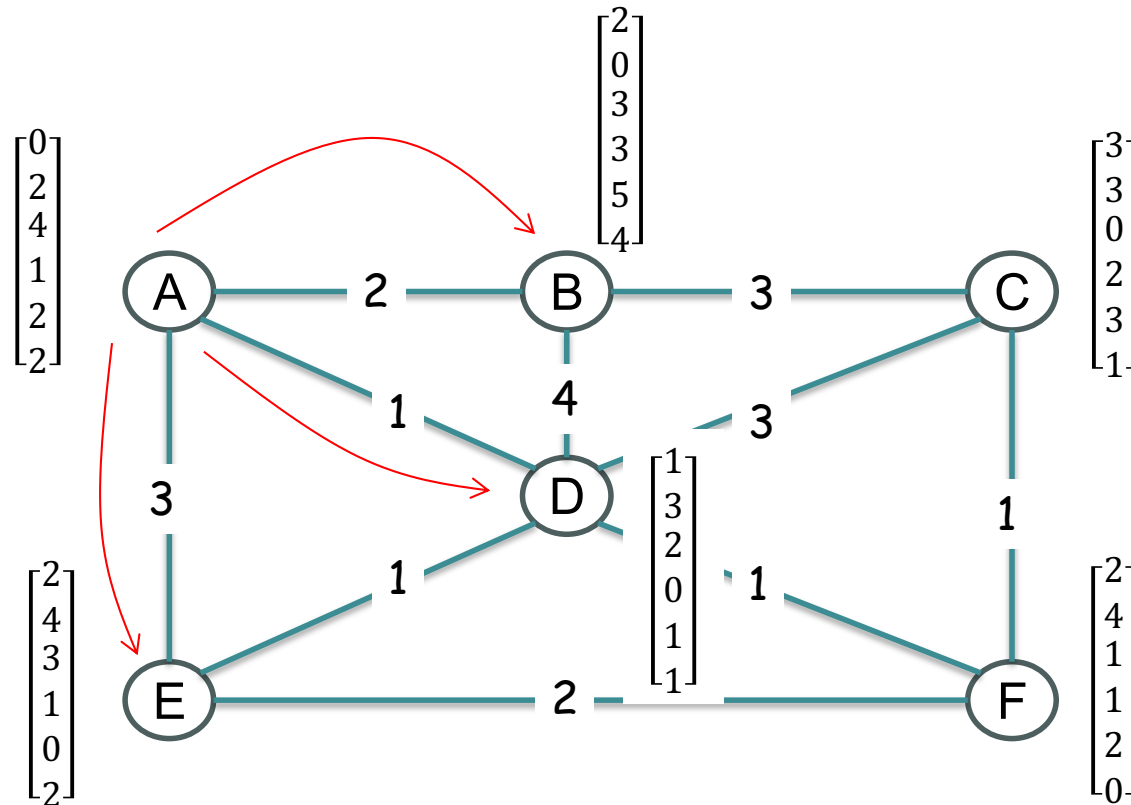
Bellman-Ford distribuido

- $t = 5s$
 - F envía su vector, lo reciben C, D y E
 - C, D y E actualizan su vector de distancias



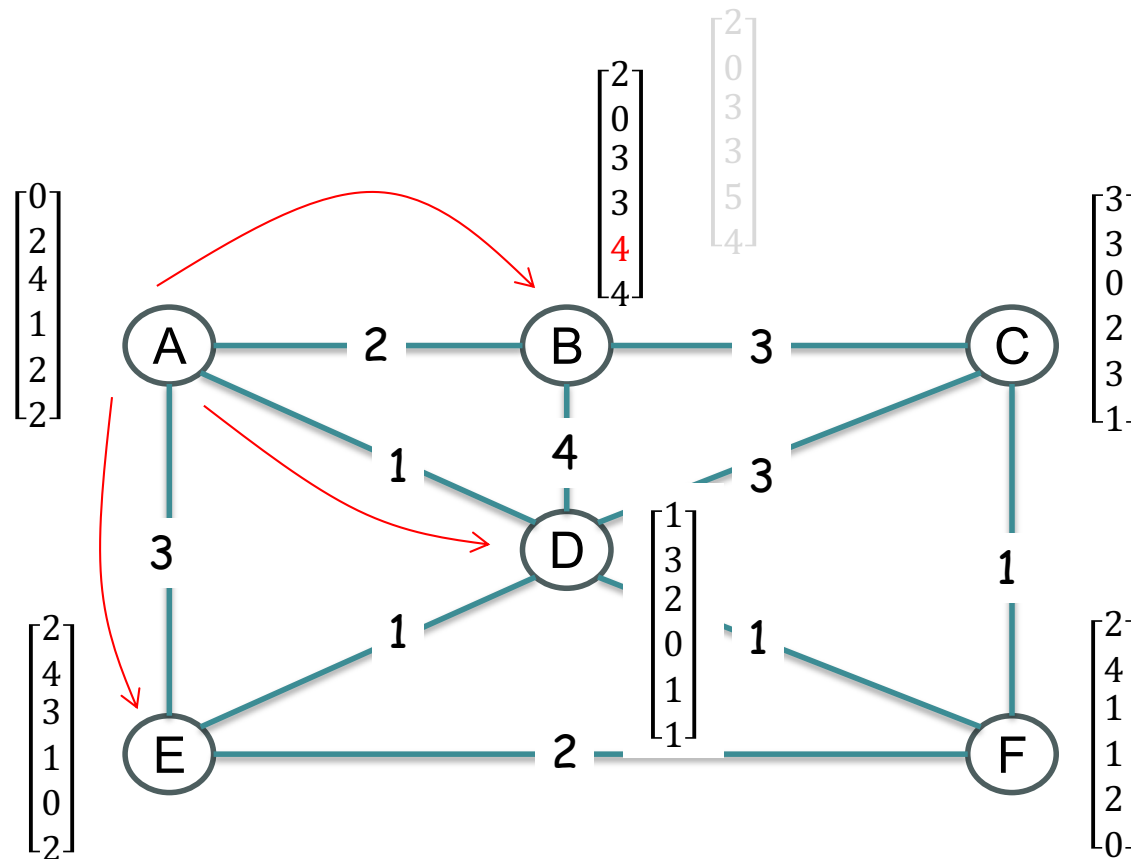
Bellman-Ford distribuido

- $t = 30s$
 - A envía su vector, lo reciben B, D y E



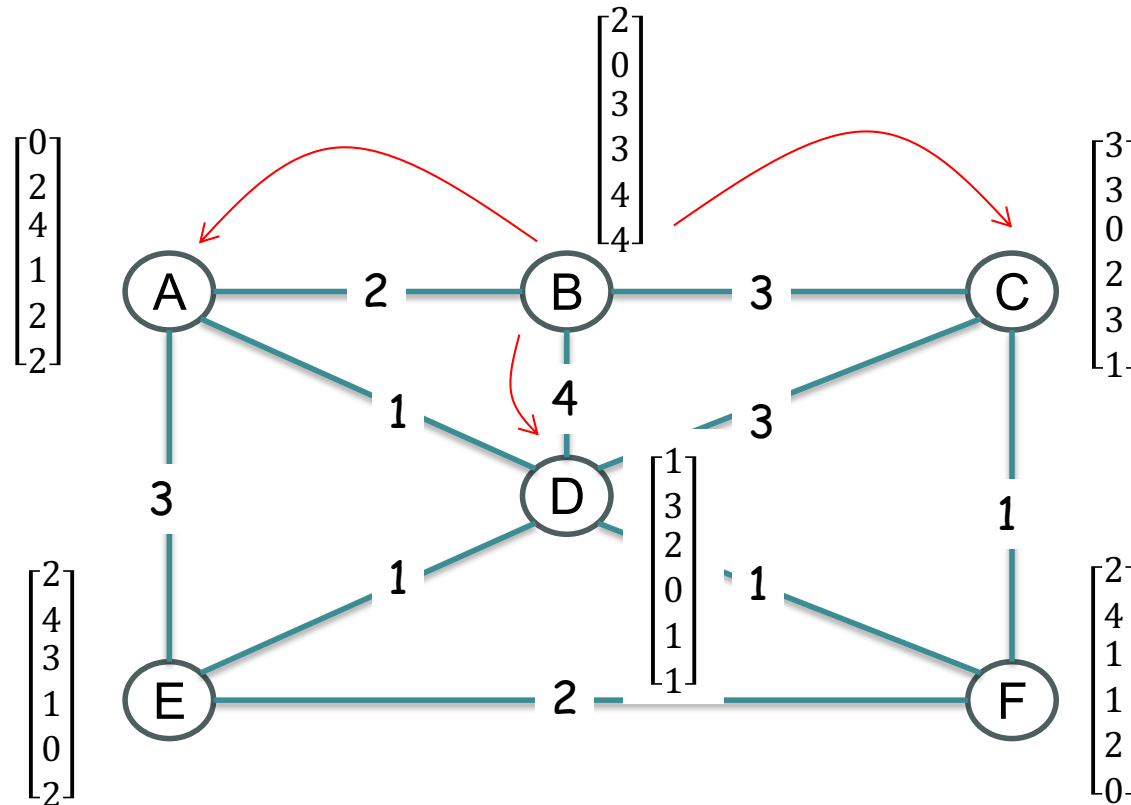
Bellman-Ford distribuido

- $t = 30s$
 - A envía su vector, lo reciben B, D y E
 - B, D y E actualizan su vector de distancias



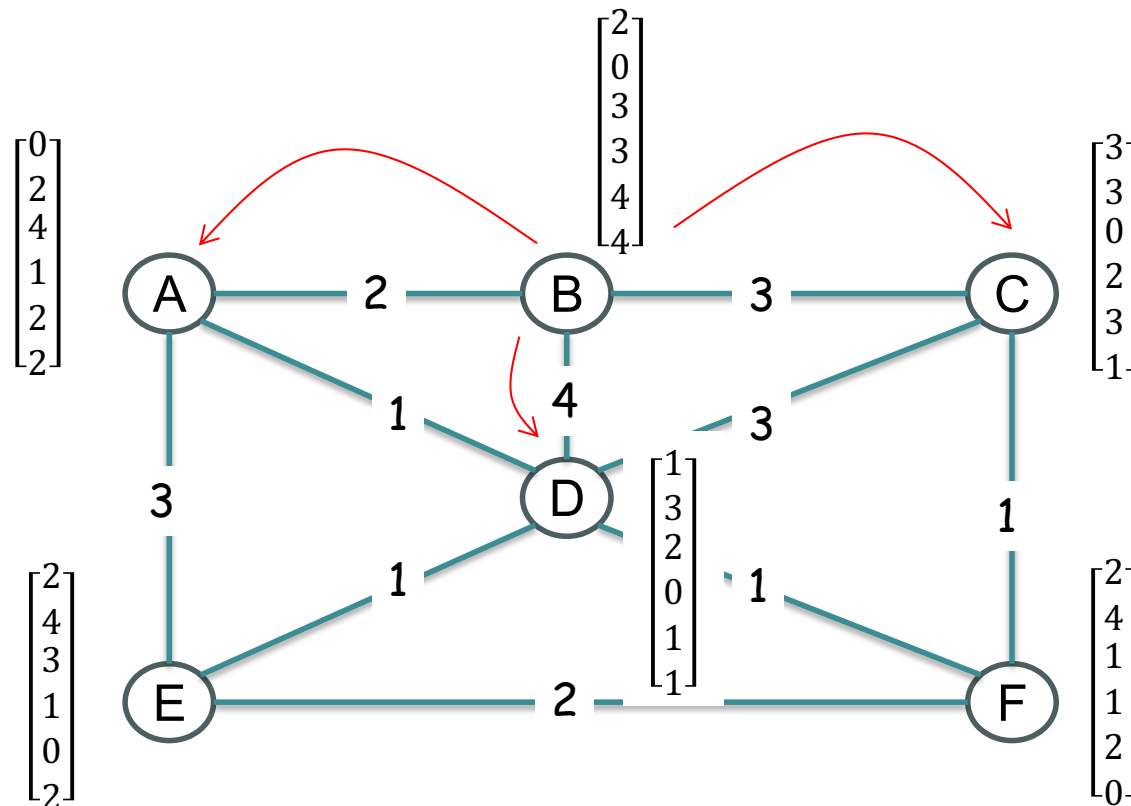
Bellman-Ford distribuido

- $t = 31s$
 - B envía su vector, lo reciben A, C y D



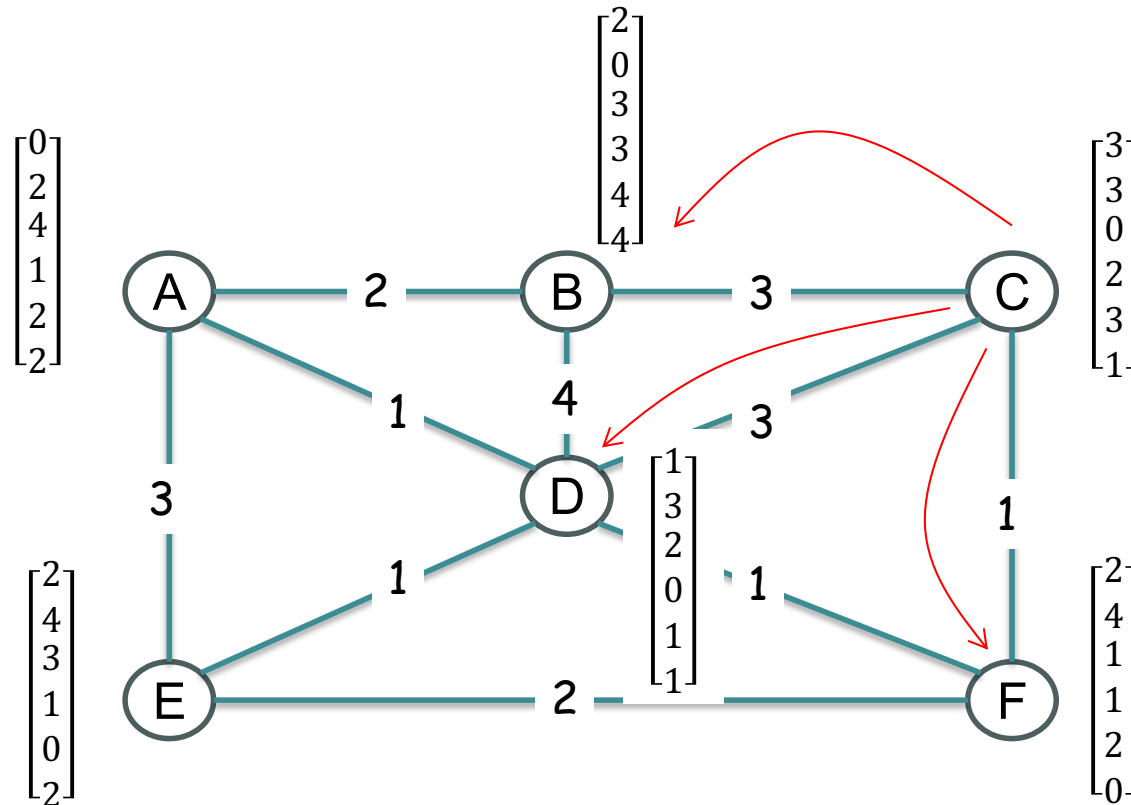
Bellman-Ford distribuido

- $t = 31s$
 - B envía su vector, lo reciben A, C y D
 - A, C y D actualizan su vector de distancias
 - No hay cambios



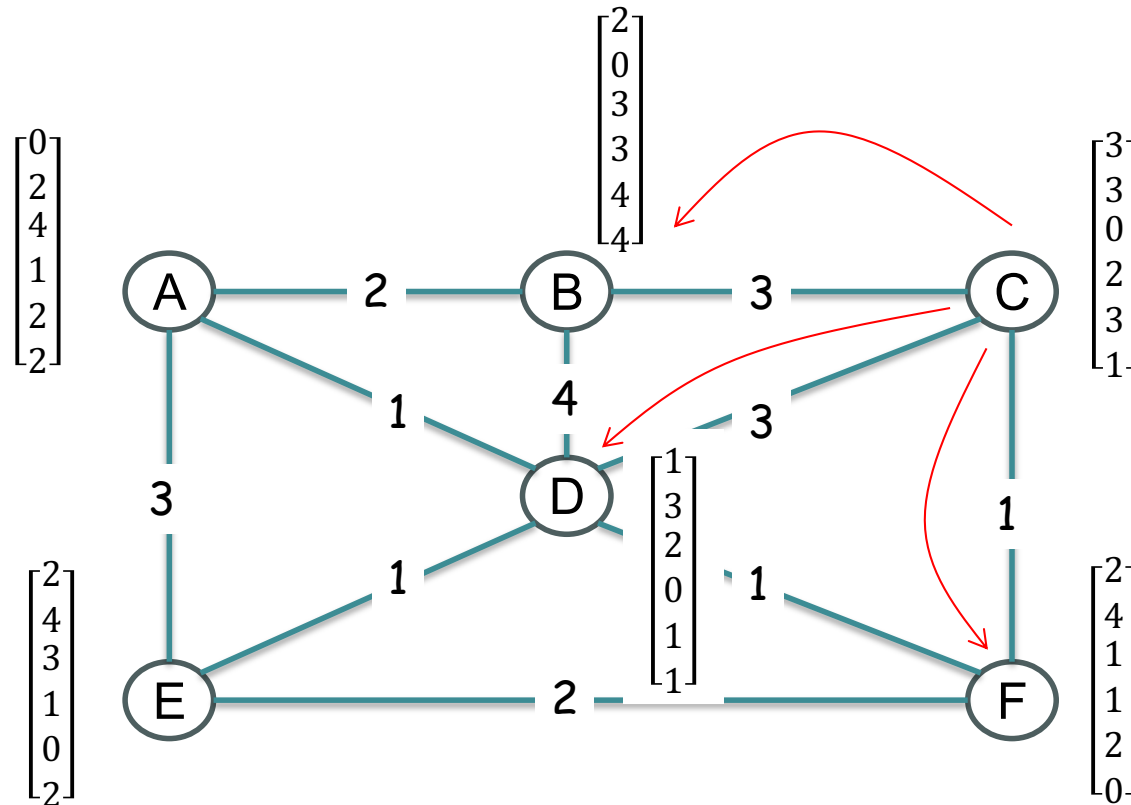
Bellman-Ford distribuido

- $t = 32s$
 - C envía su vector, lo reciben B, D y F



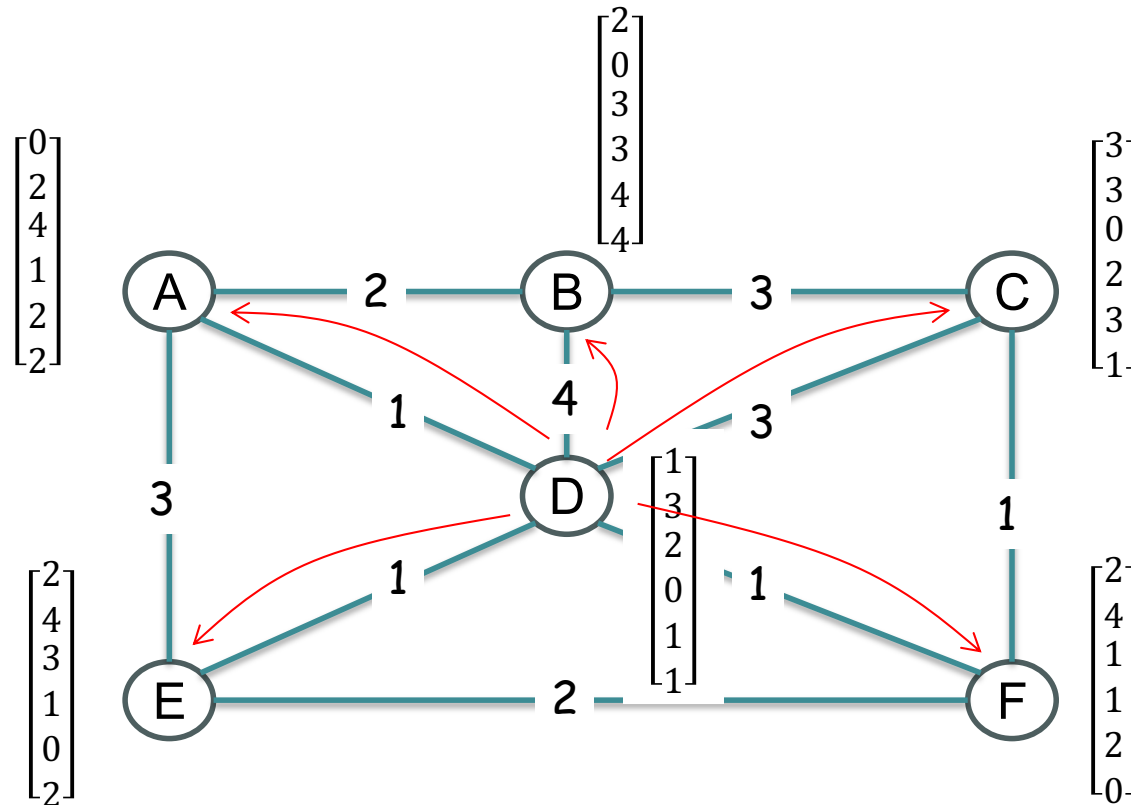
Bellman-Ford distribuido

- $t = 32s$
 - C envía su vector, lo reciben B, D y F
 - B, D y F actualizan su vector de distancias
 - No hay cambios



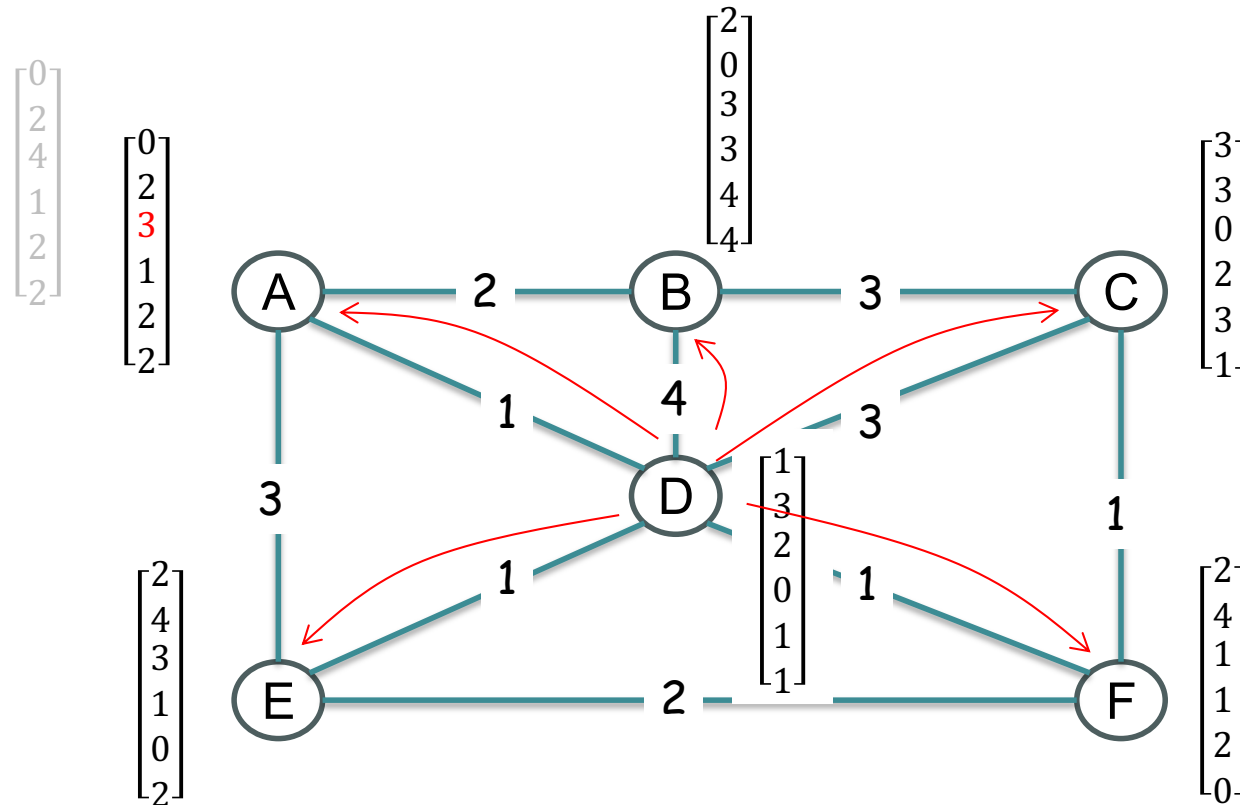
Bellman-Ford distribuido

- $t = 33s$
 - D envía su vector, lo reciben A, B, C, E y F



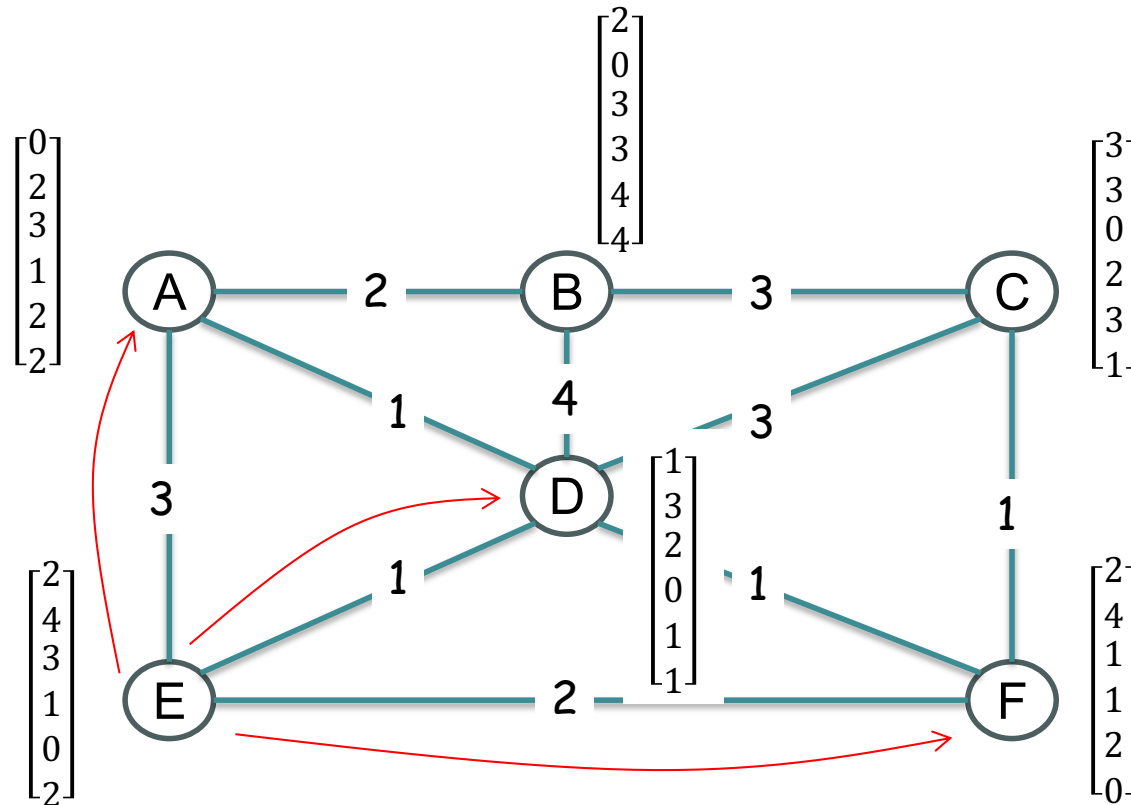
Bellman-Ford distribuido

- $t = 33s$
 - D envía su vector, lo reciben A, B, C, E y F
 - A, B, C, E y F actualizan su vector de distancias



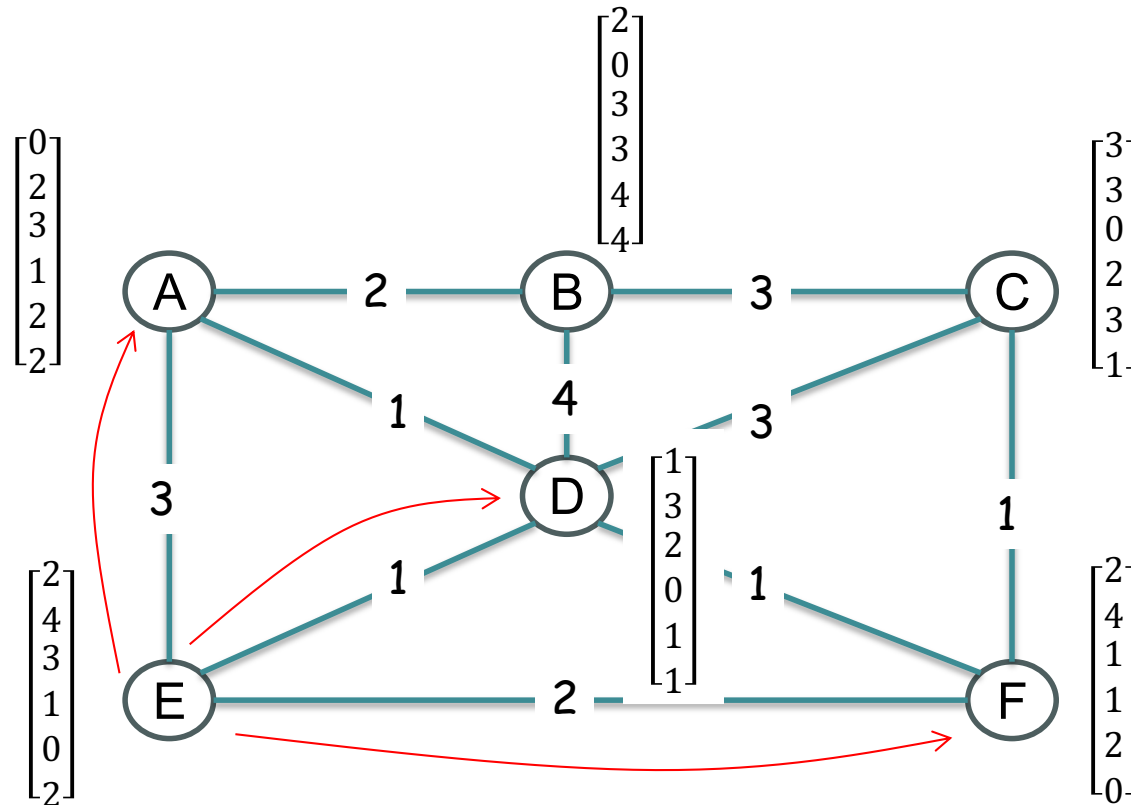
Bellman-Ford distribuido

- $t = 34s$
 - E envía su vector, lo reciben A, D y F



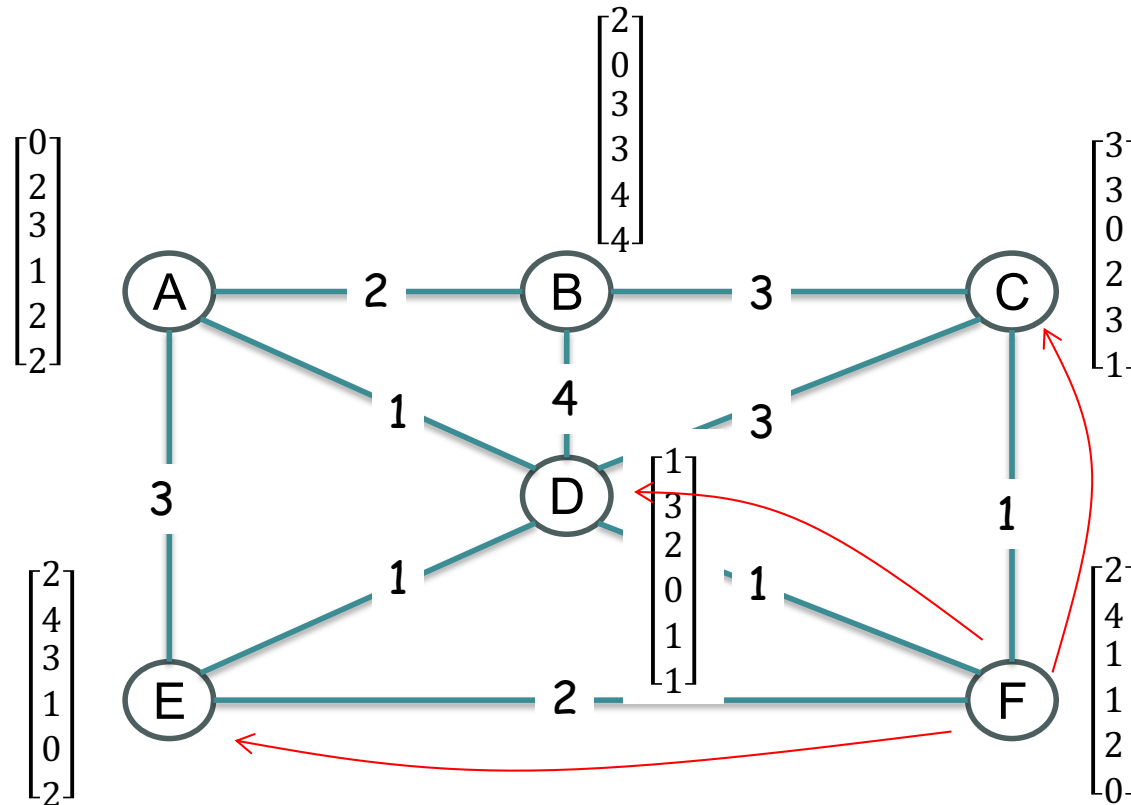
Bellman-Ford distribuido

- $t = 34s$
 - E envía su vector, lo reciben A, D y F
 - A, D y F actualizan su vector de distancias



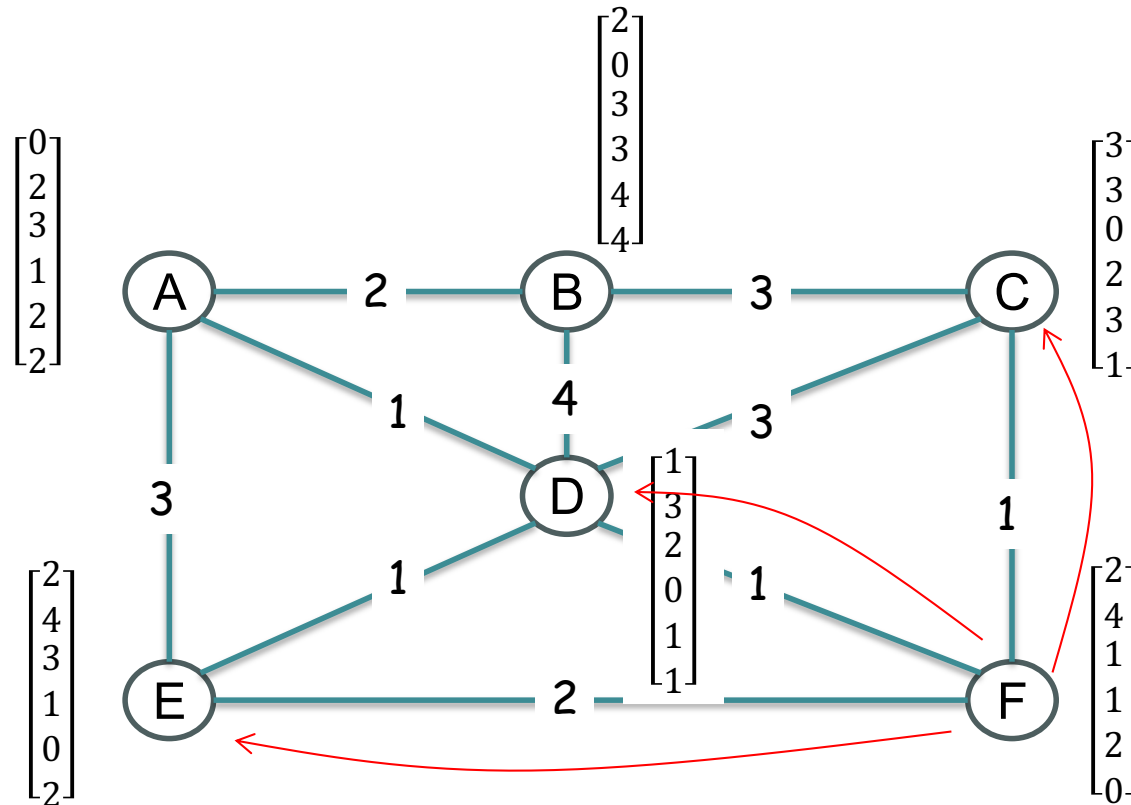
Bellman-Ford distribuido

- $t = 35s$
 - F envía su vector, lo reciben C, D y E



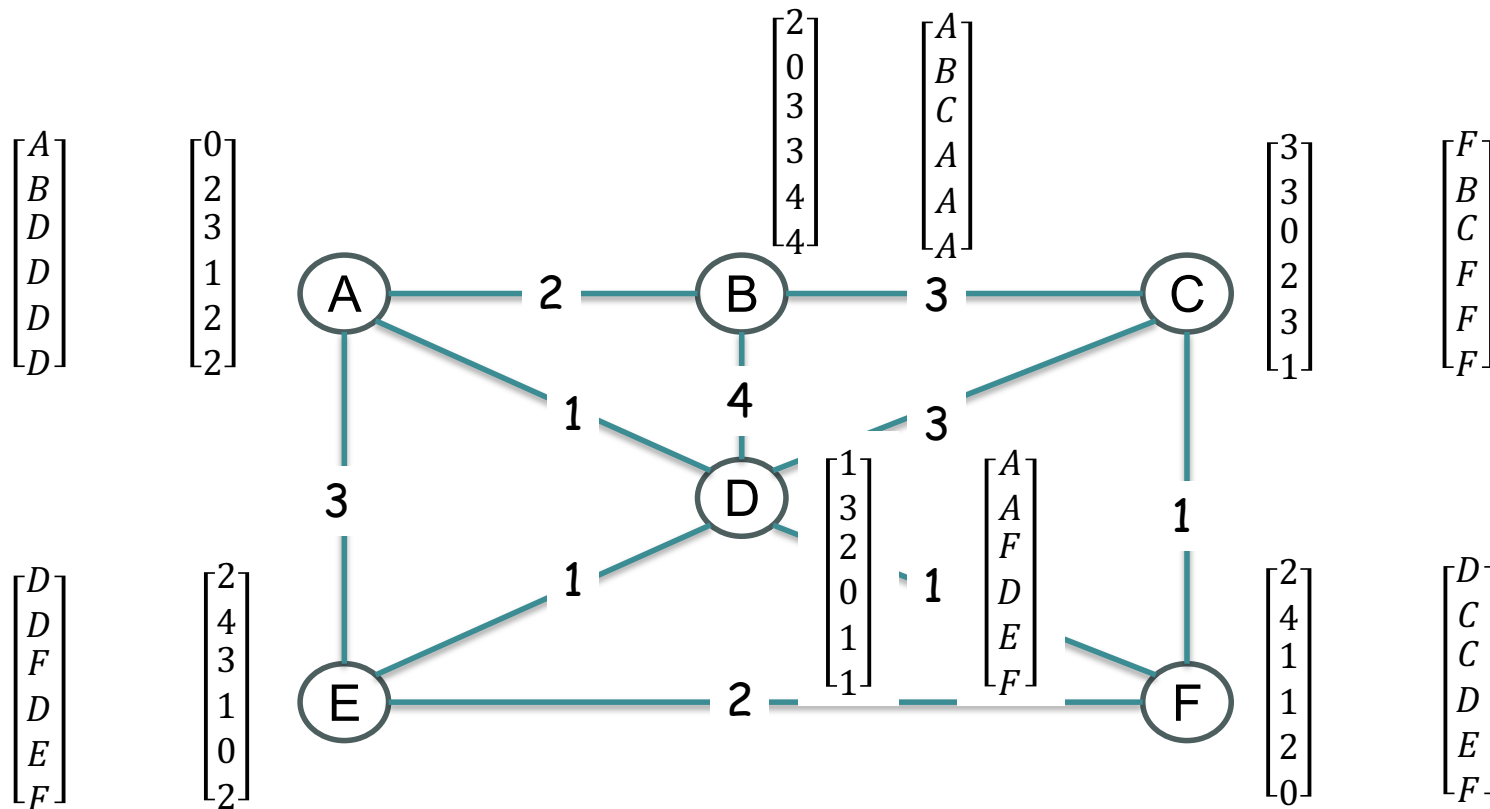
Bellman-Ford distribuido

- $t = 35s$
 - F envía su vector, lo reciben C, D y E
 - C, D y E actualizan su vector de distancias
 - No hay cambios



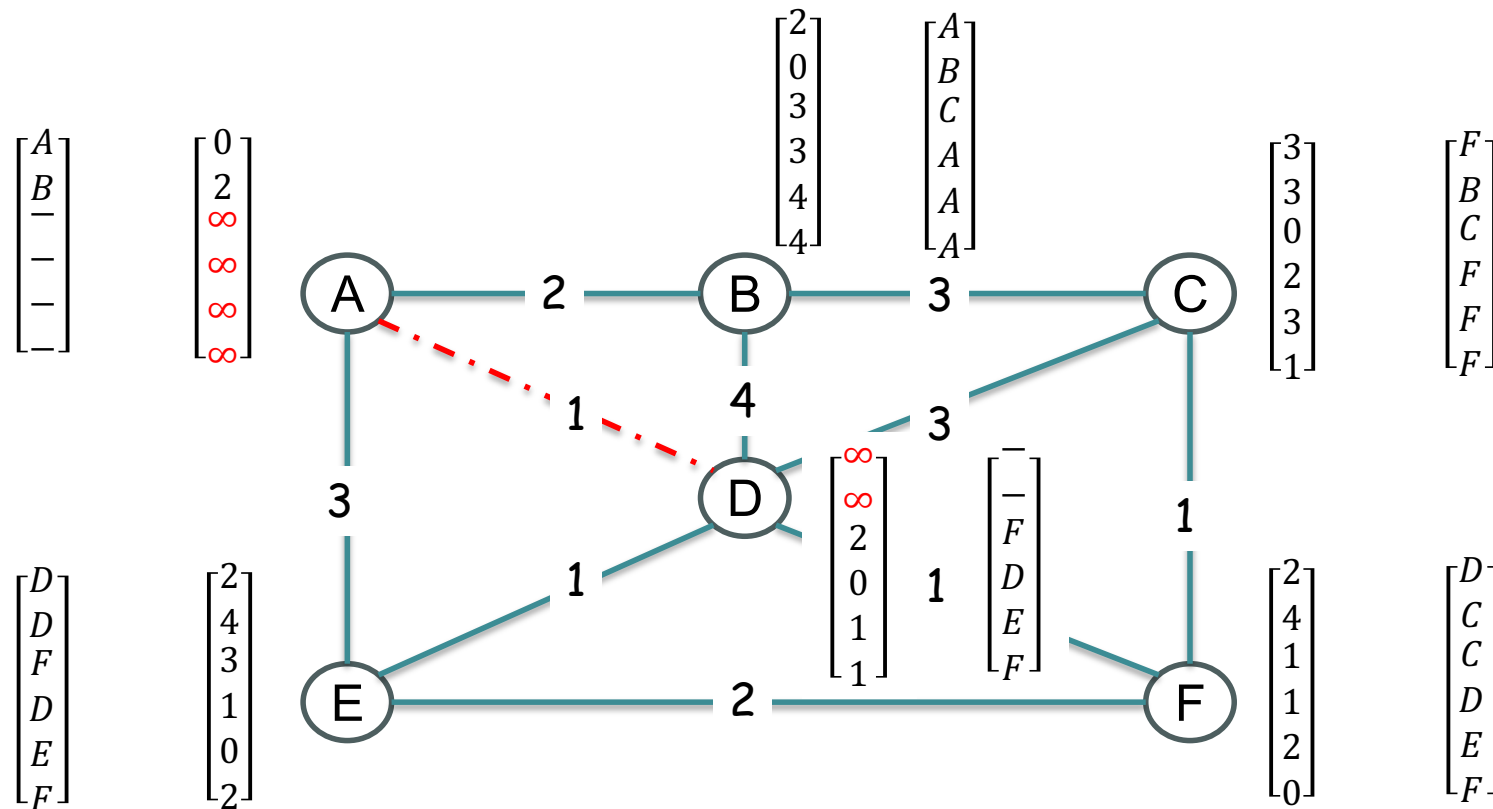
Bellman-Ford distribuido

- $t > 35s$
 - No hay cambios
 - Mostramos los sucesores aprendidos



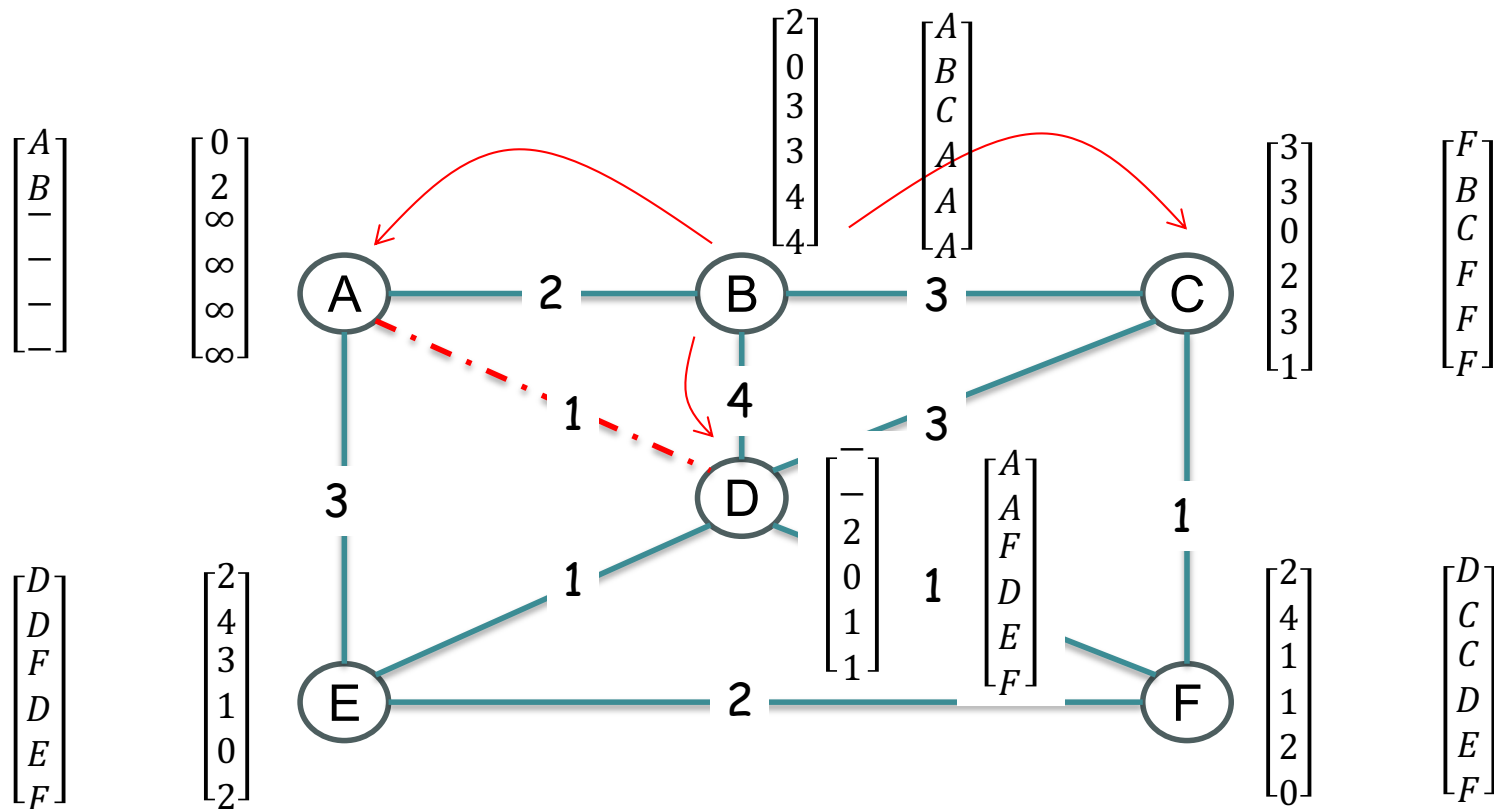
Bellman-Ford distribuido

- $t = T$, falla el enlace entre A y D
- Si el sucesor era por ese enlace pasa a ser inaccesible el destino
- Esto podría suceder en cualquier momento
- Por ejemplo, ahora podría tocarle a B enviar



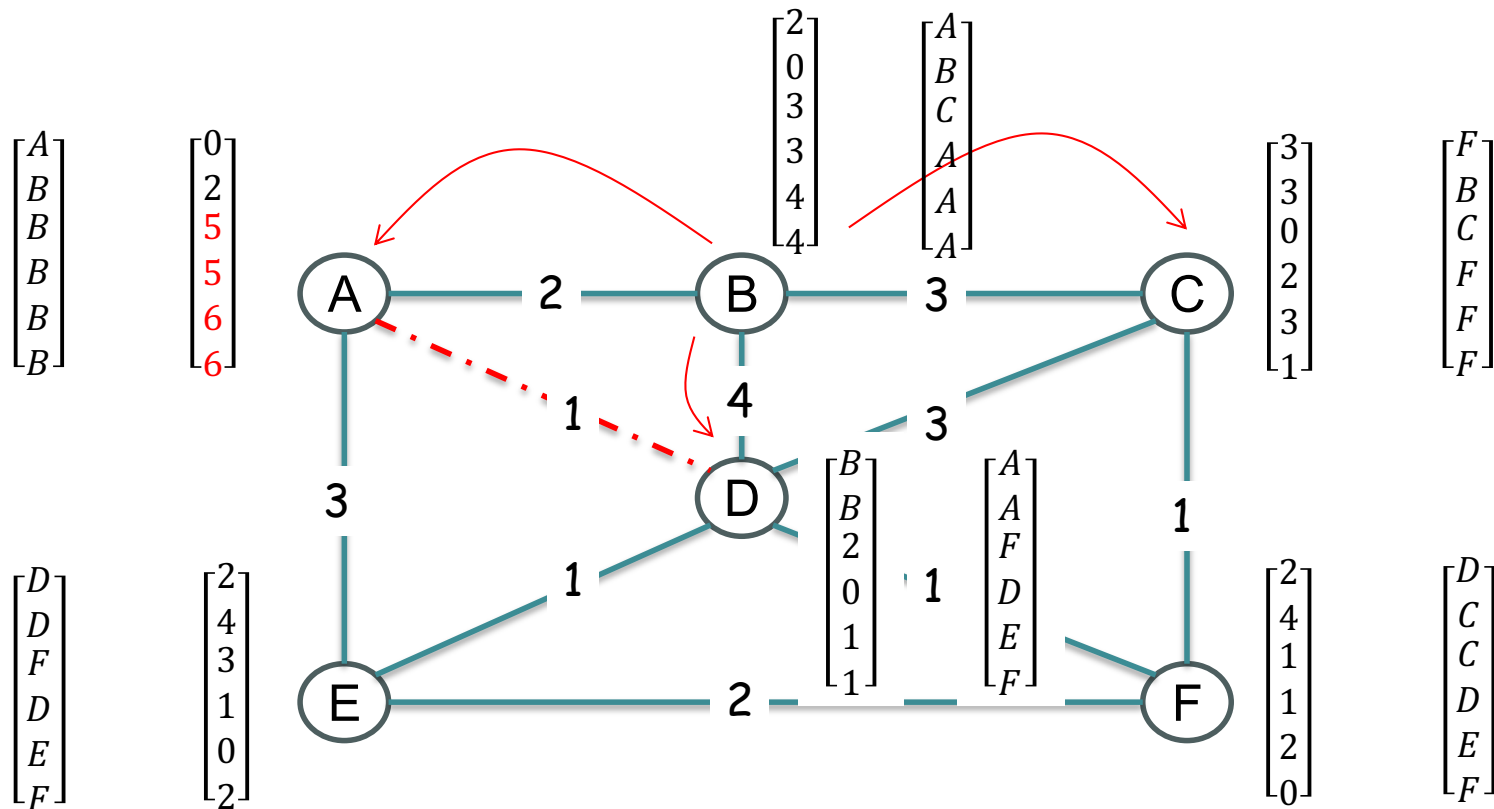
Bellman-Ford distribuido

- B envía



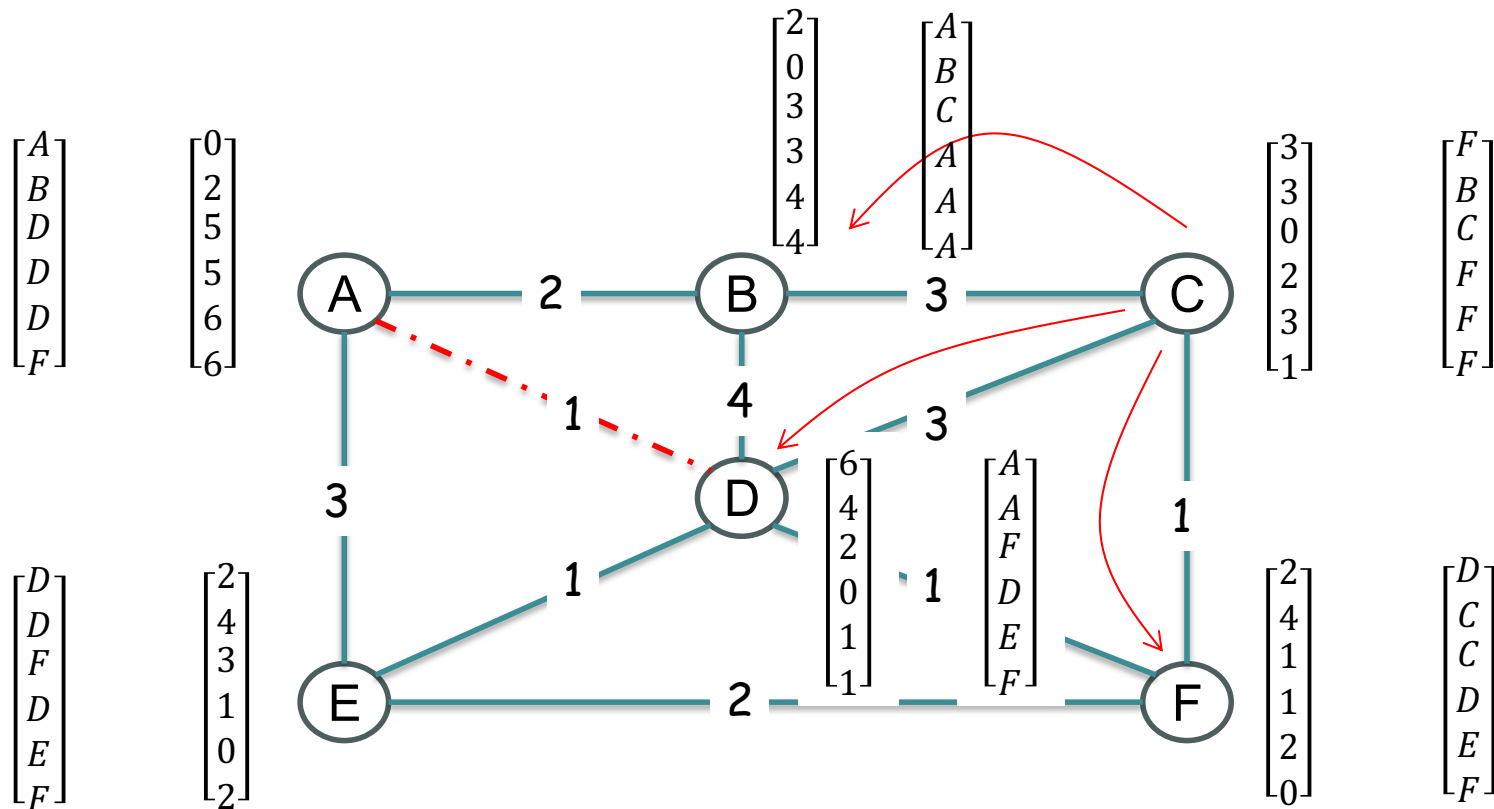
Bellman-Ford distribuido

- B envía



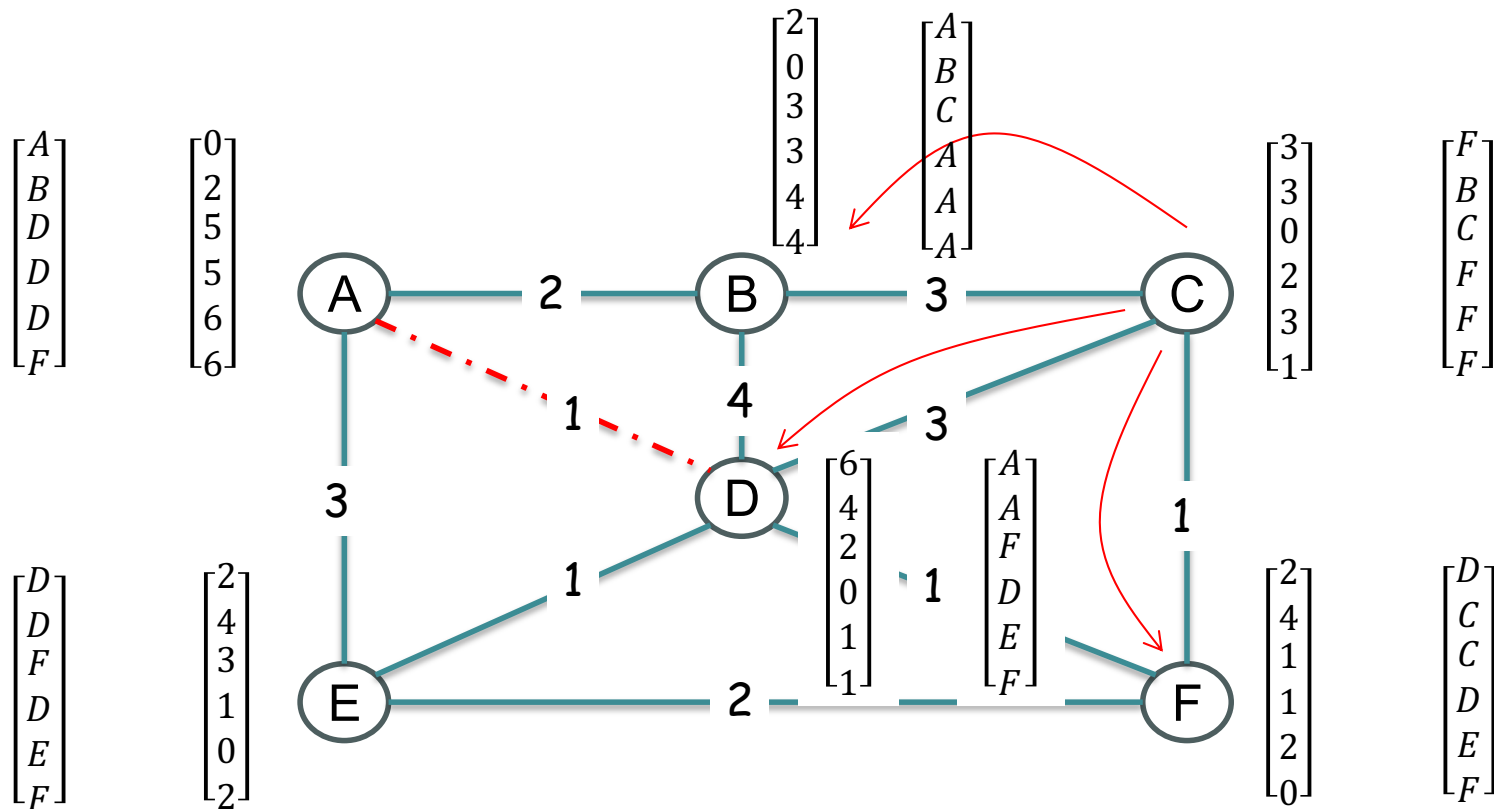
Bellman-Ford distribuido

- C envía



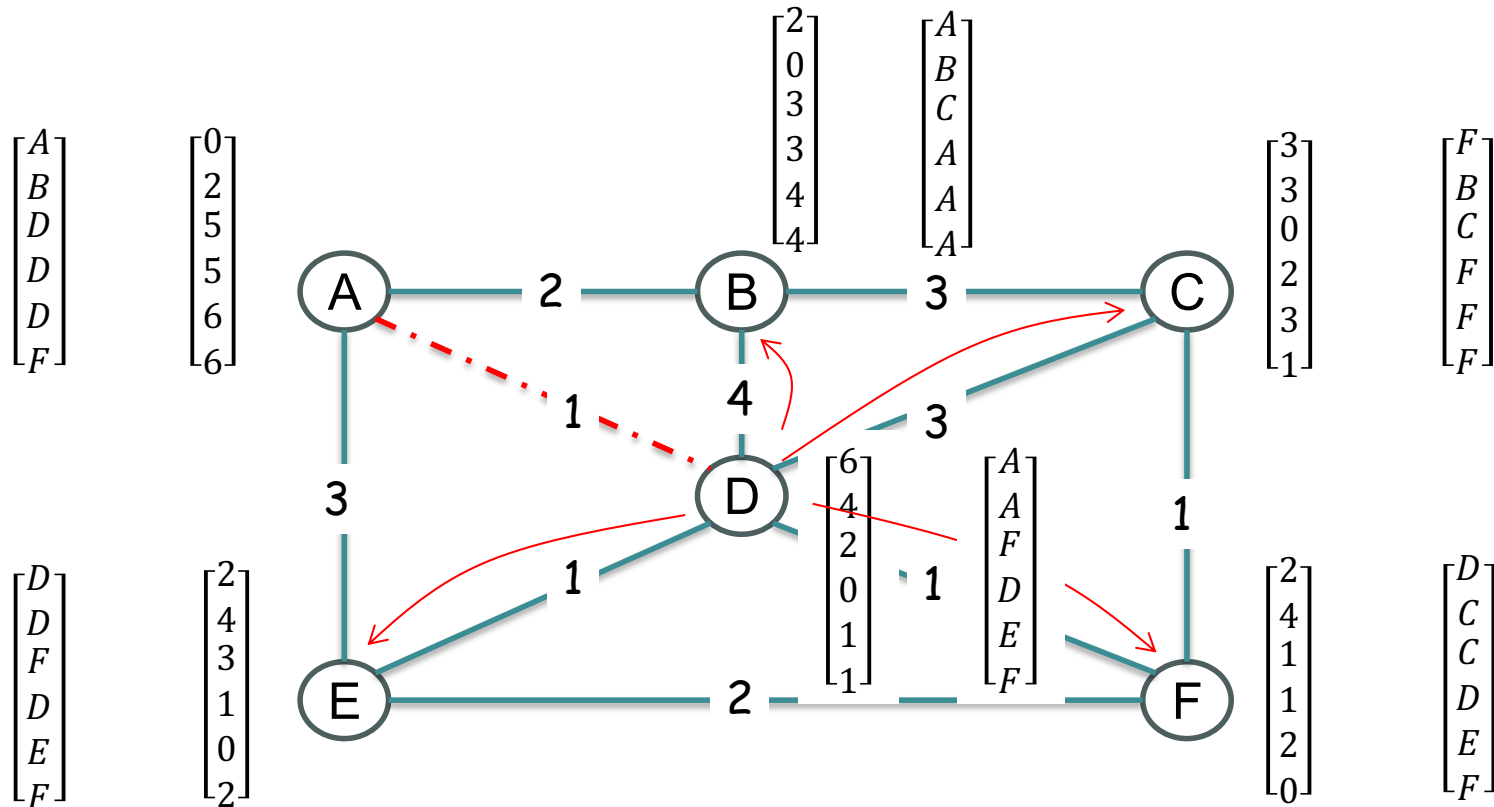
Bellman-Ford distribuido

- C envía
- No hay cambios



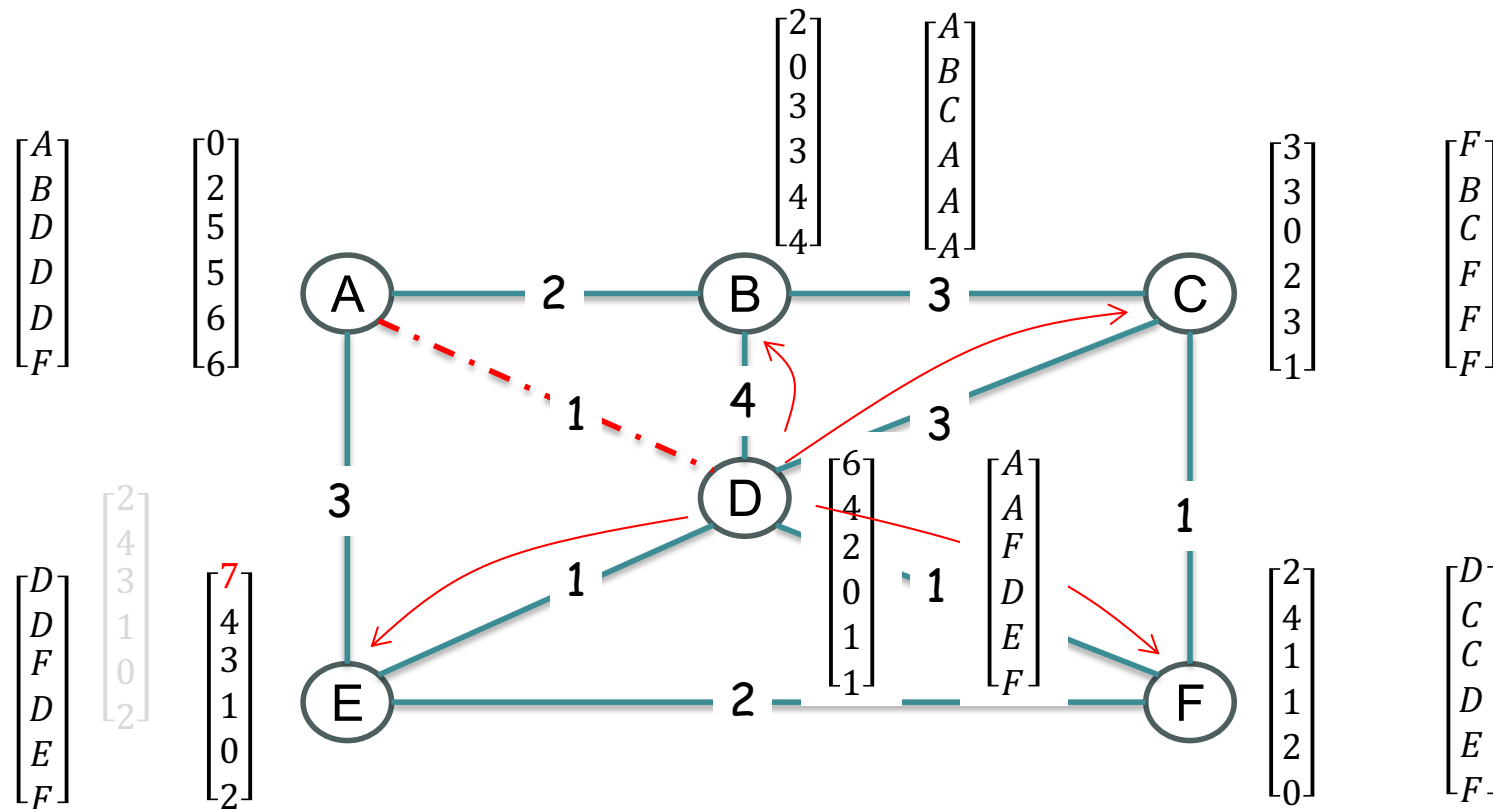
Bellman-Ford distribuido

- D envía



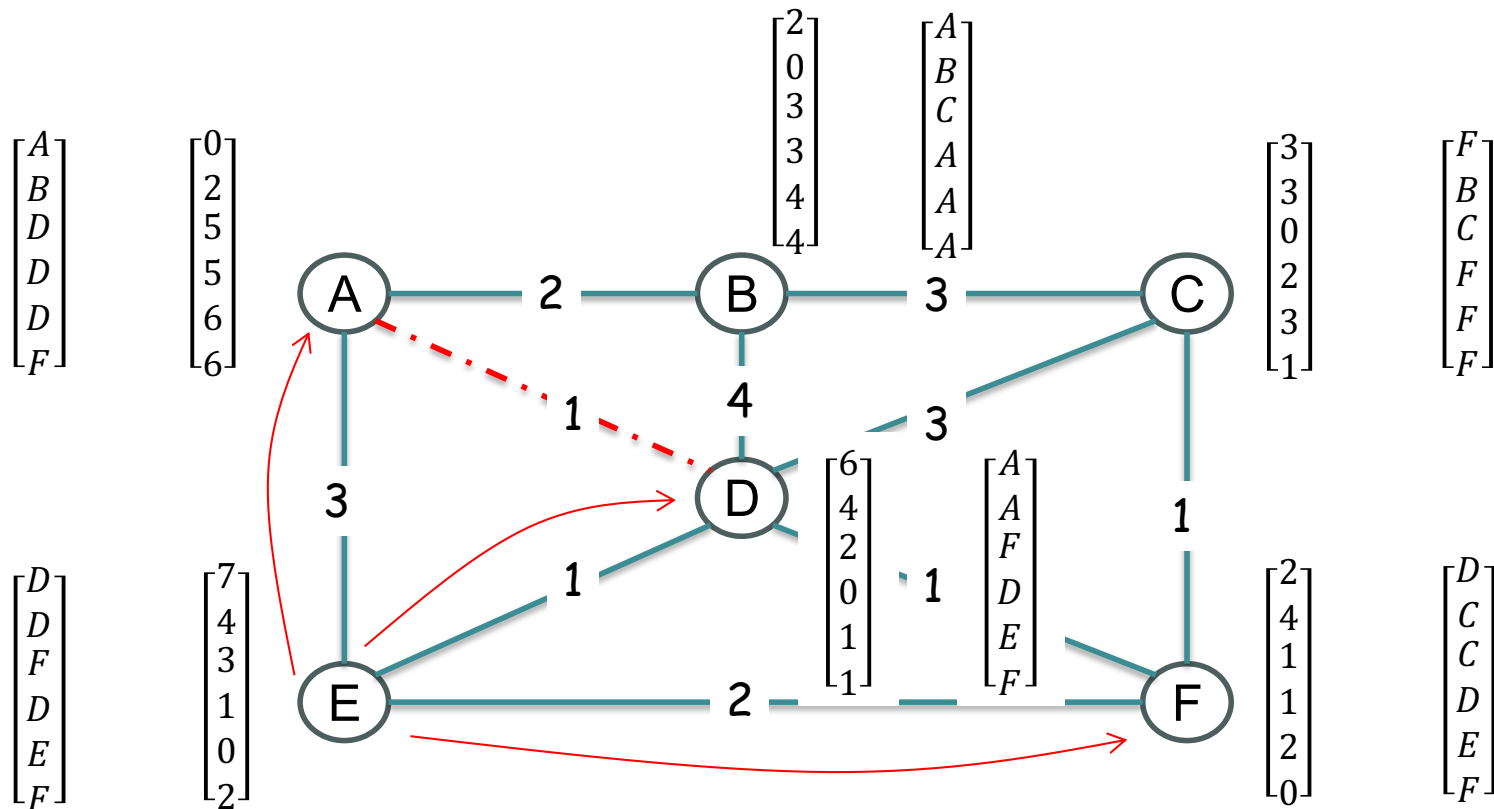
Bellman-Ford distribuido

- D envía
- E actualiza el coste a A porque el sucesor que tenía era D
- **B sigue pensando que puede llegar a D por A con coste 3 que es mejor que el coste 0+4 que le lleva llegar a D con el anuncio de éste**



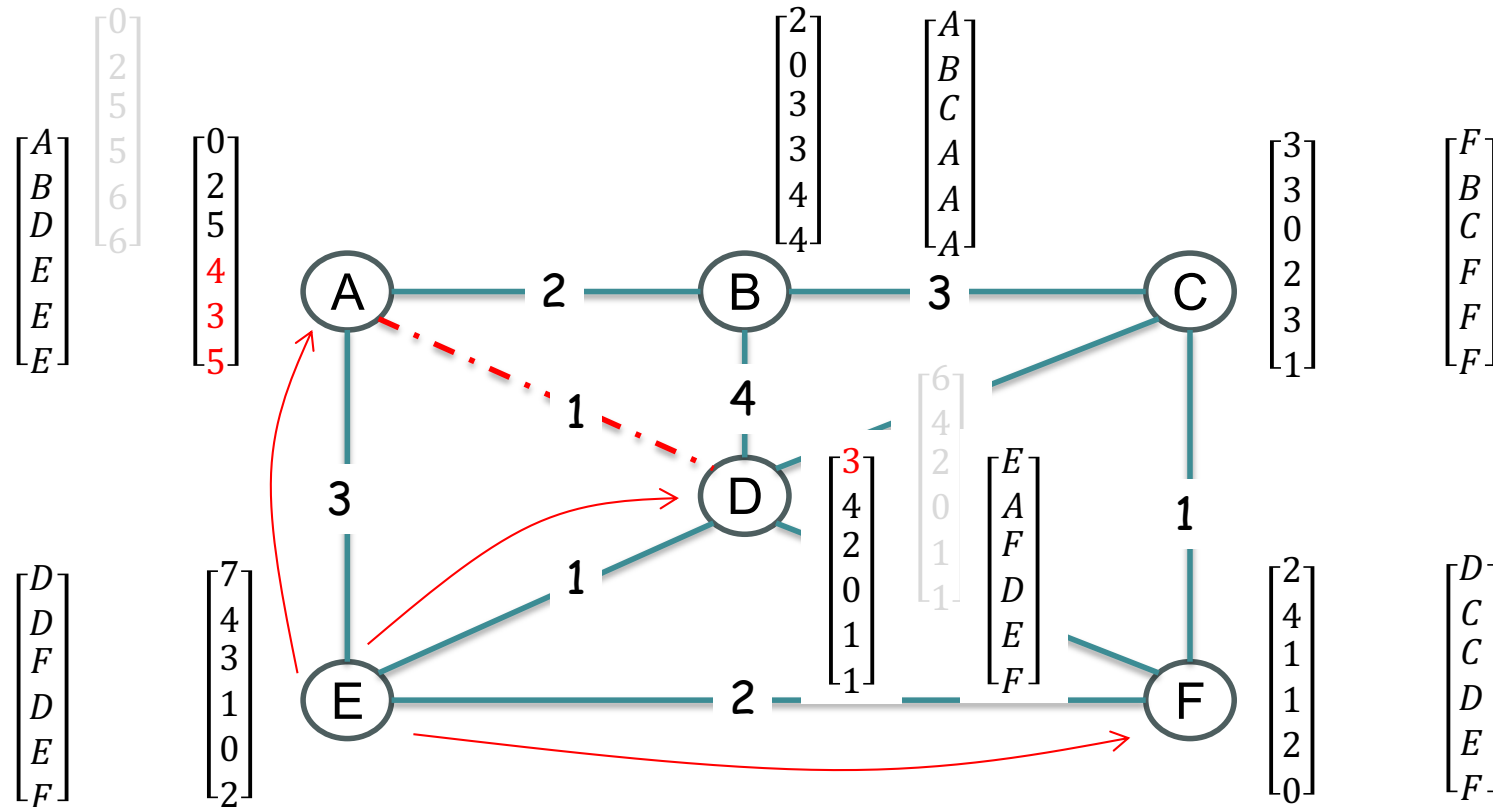
Bellman-Ford distribuido

- E envía



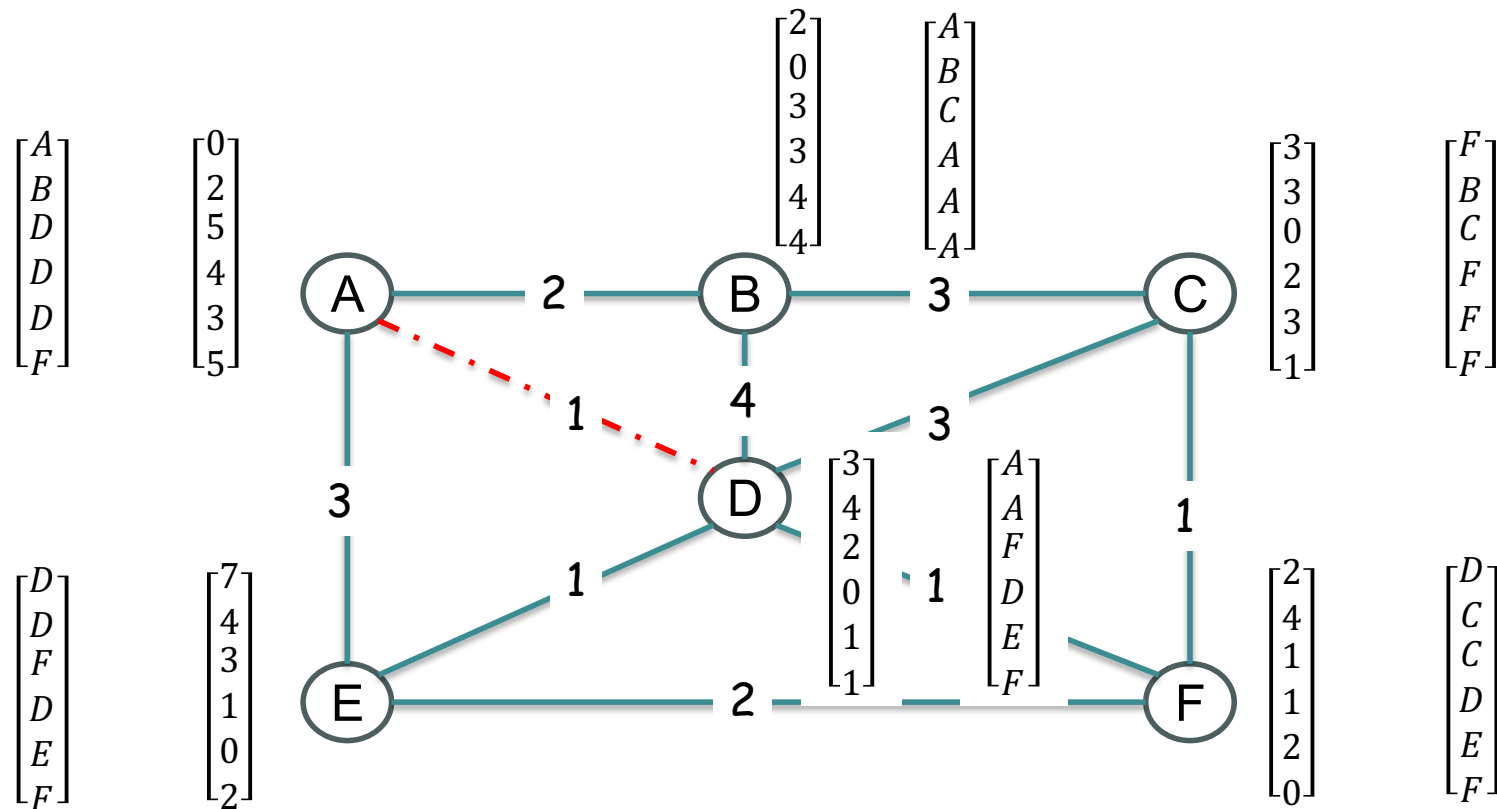
Bellman-Ford distribuido

- E envía



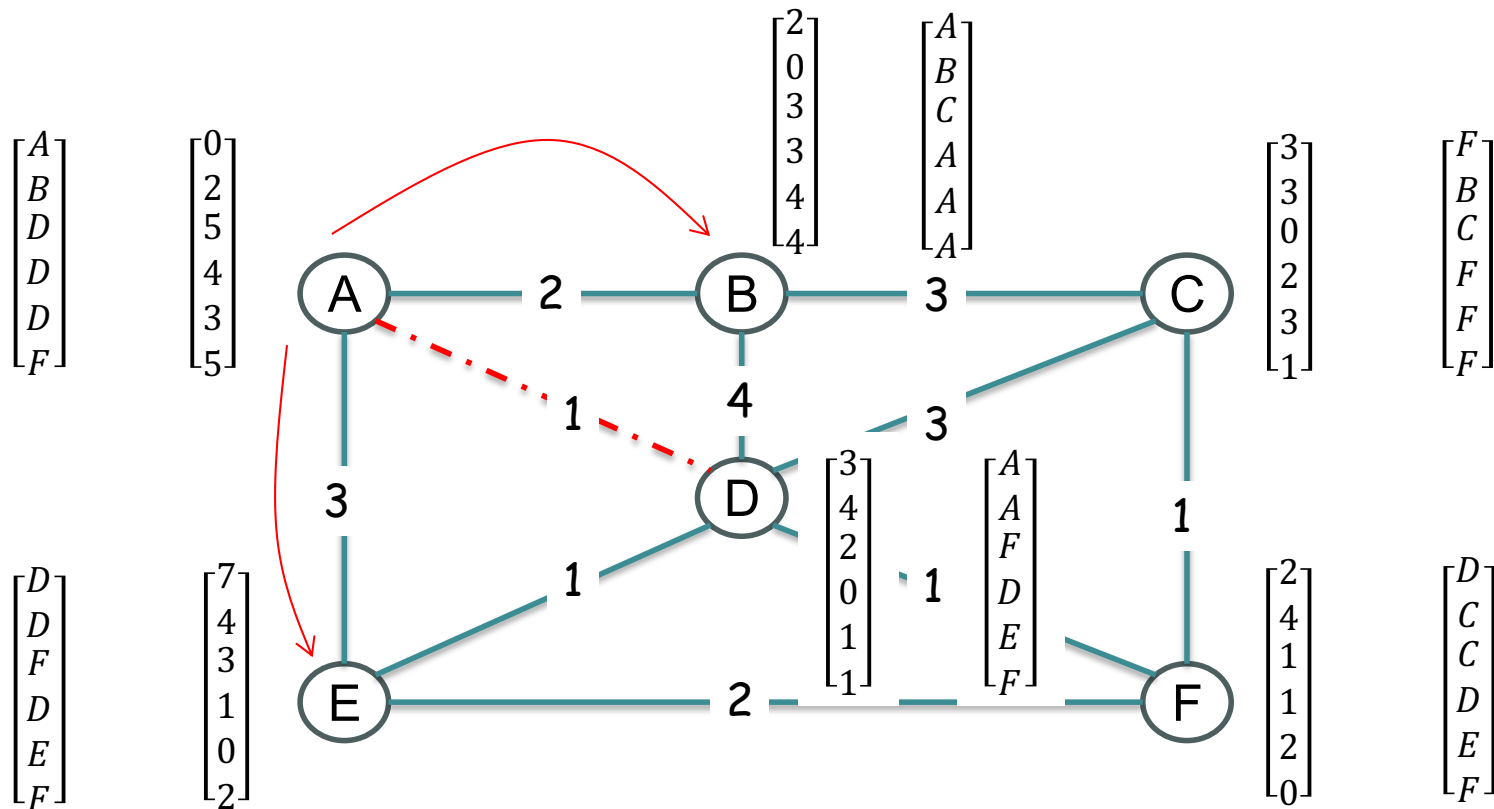
Bellman-Ford distribuido

- F envía
- No hay cambios



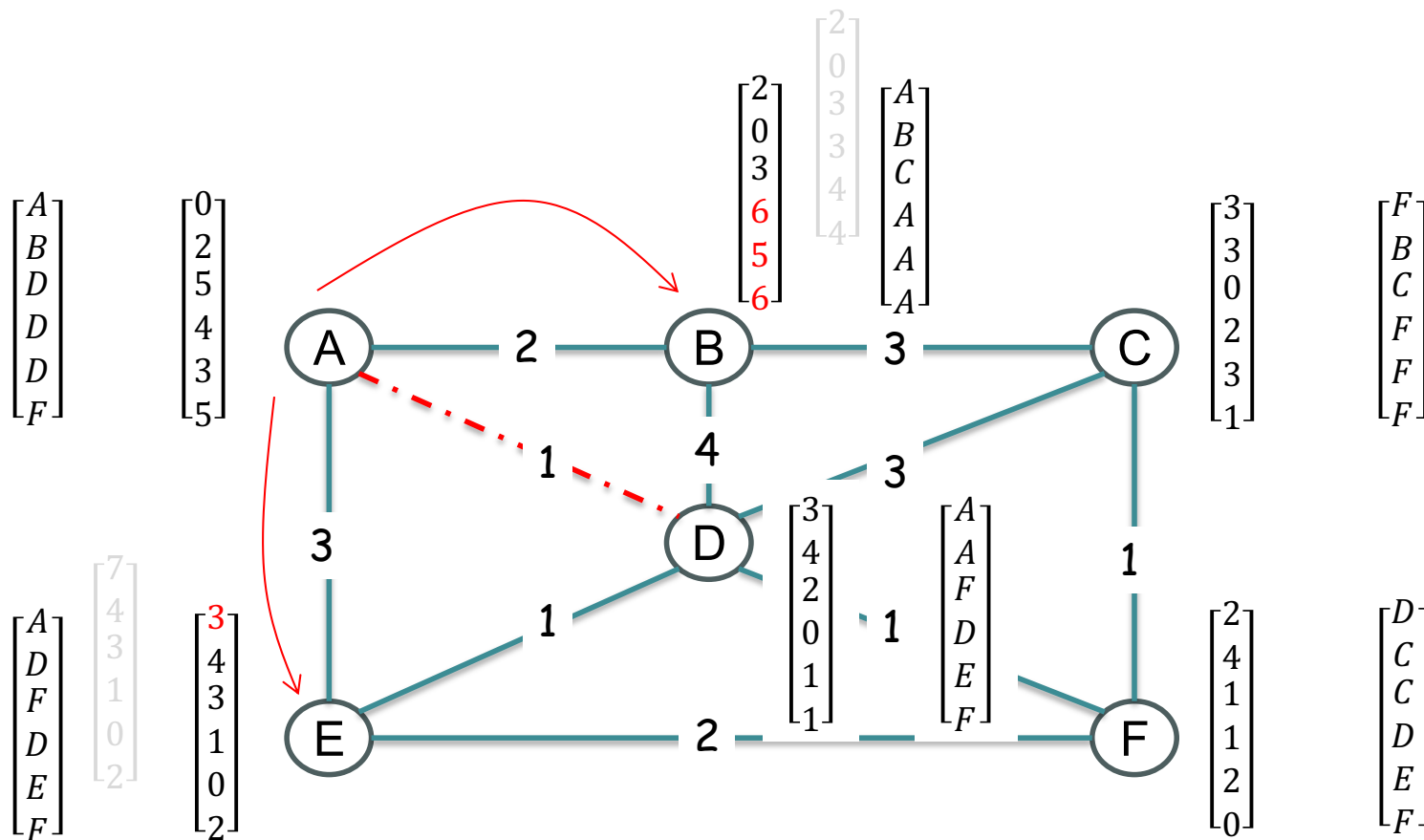
Bellman-Ford distribuido

- A envía



Bellman-Ford distribuido

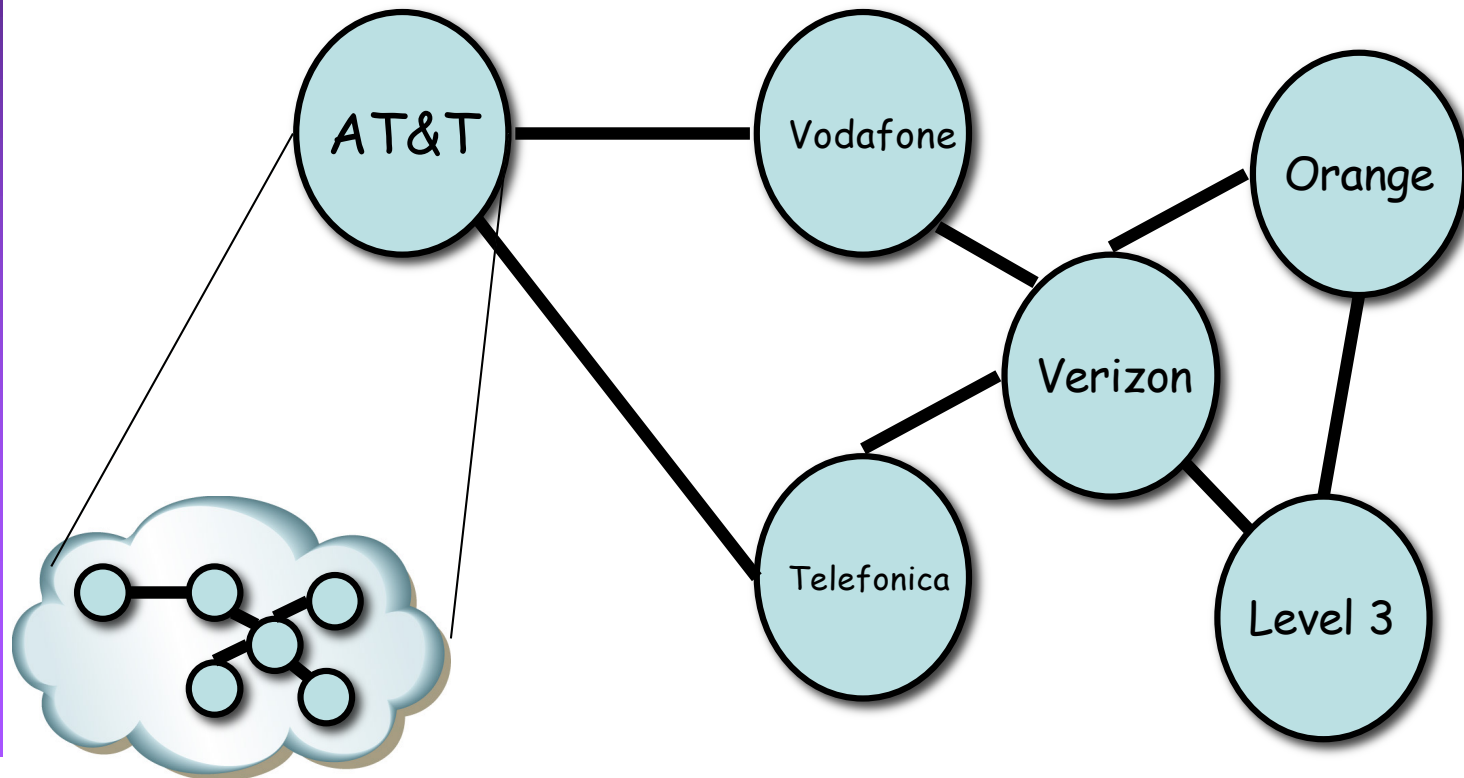
- A envía
- B actualiza los costes a D, E y F porque el sucesor para esos destinos era A
- Ahora, la próxima vez que D envíe podrá aprender B el camino a D por el enlace directo de coste 4



Encaminamiento en Internet

Autonomous Systems

- Ya hemos comentado que Internet es la interconexión de un conjunto de Sistemas Autónomos (ASs)
- Cada uno gestión independiente
- Cada uno decide cómo hacer el encaminamiento interno
- Los protocolos que se usan se llaman IGP (*Interior Gateway Protocols*)



Autonomous Systems

- El encaminamiento **entre** esos sistemas autónomos sí necesita coordinación
- Comparten información equipos de gestores independientes
- El mecanismo empleado es similar a *distance vector*, aunque se anuncia en realidad el camino (ASs por los que pasa)
- Se llama *path vector*

