

# Enrutamiento

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

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios  
Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 2º

# Resumen hasta ahora

- Algoritmo distance-vector teórico
- Cálculo de rutas distribuidas
- Adaptación a los cambios
- Convergencia rápida a los cambios y auto-parada en algunos casos
  - Normalmente los cambios a mejor se propagan rápido
- Problemas de convergencia/estabilidad y cuentas a infinito en otros casos
  - Normalmente los cambios a peor se propagan despacio
- Soluciones que alivian estos problemas pero no los resuelven totalmente
- Lo suficiente para que los algoritmos distance-vector sean útiles
- Qué protocolos reales distance-vector se utilizan? (RIP, IGRP, EIGRP...)
- Como conseguir algoritmos con menos problemas de convergencia?

# Link-State Routing

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

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios  
Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 2º

# Enrutamiento Link-State

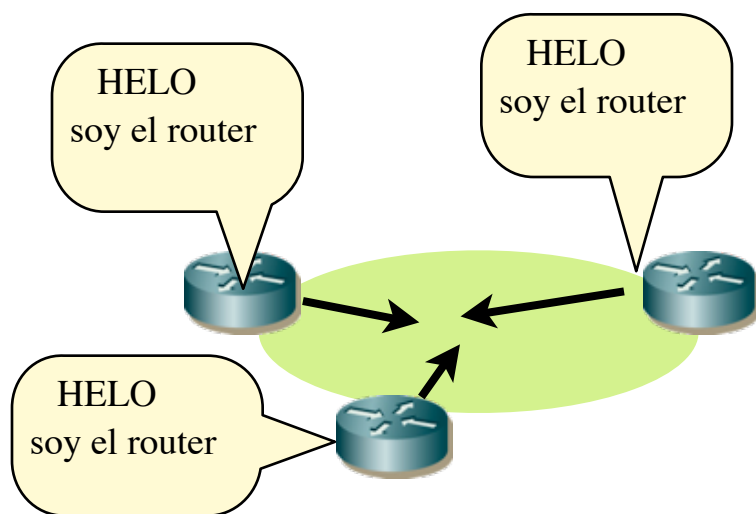
- Idea de funcionamiento
  - Cada router es responsable de reconocer a sus vecinos y aprenderse su nombre (identidad)
  - Cada router construye un paquete llamado LSP (link state packet) conteniendo una lista de todos sus vecinos y el coste asociado
  - El LSP se envía a todos los demás routers de la red. Cada router recuerda el ultimo LSP recibido de cada otro router
  - Cada router con el mapa completo de la topologia calcula las rutas a cada destino posible y actualiza su tabla de rutas
- Como de difícil es cada una de estas fases?

# Link-State: 1 descubrir vecinos

- Descubrimiento de vecinos

## Mensaje HELO

- Contiene una identidad del router
- Periódico a la red de área local o al enlace punto a punto
- Recordar los últimos HELOs vistos (lista de identidades de los vecinos)
- Tiempo entre mensajes
- Tiempo para dar al router por desaparecido



| Vecinos | Visto hace |
|---------|------------|
| 65      | 6s         |
| 42      | 14s        |
|         |            |
|         |            |

# Link-State: construir LSPs

- Construir LSPs
  - Periódicamente
  - Cada vez que veo un nuevo vecino
  - Cada vez que cambia el coste a un vecino
  - Cada vez que dejo de ver a un vecino (ha pasado el tiempo definido sin escuchar HELOs de ese vecino)
- El LSP contiene

El router de identidad X tiene esta lista de vecinos

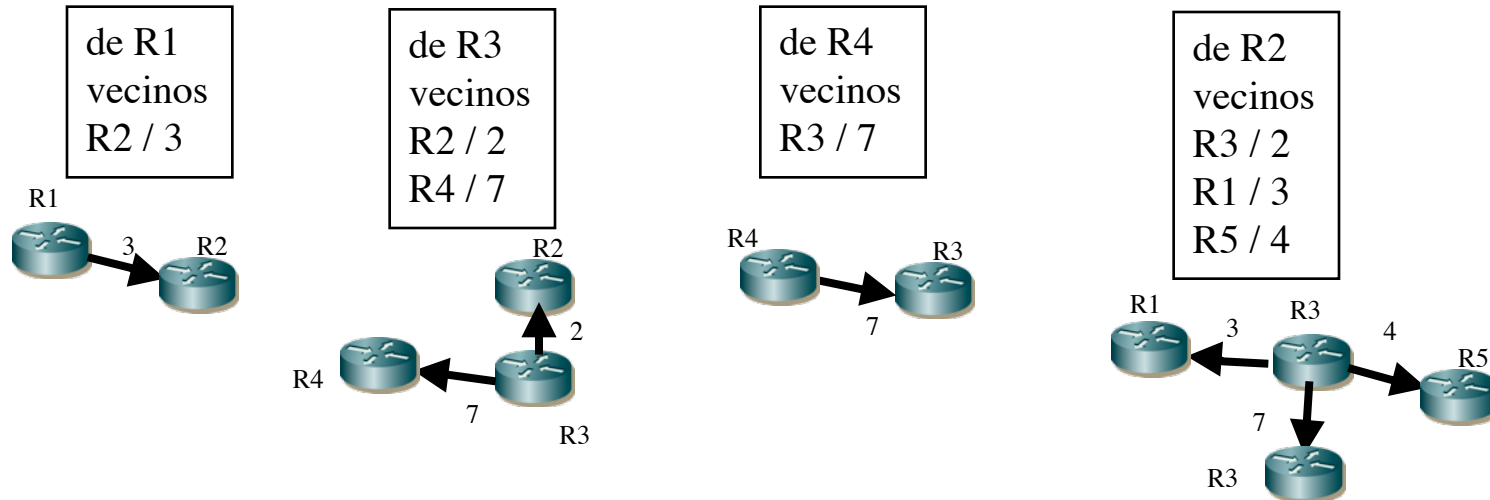
Vecino 1: Y con coste c1

Vecino 2: Z con coste c2

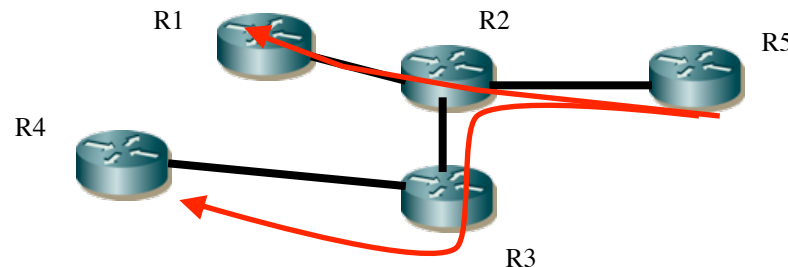
Vecino 3 ..
- En que se diferencia de los distance-vector??

# Link-State: 3 distribuir LSPs

- Cada router necesita los LSPs de todos los demás, no solo el de sus vecinos
- Recibo estos



- Base de datos de nodos y enlaces en la red
- Usando el algoritmo de Dijkstra calculo caminos



# Link-State: 3 distribuir LSPs

- Si hay un cambio en la red los routers que lo ven envían el cambio a todos
- El resto de los enlaces están en la base de datos
- Con el cambio de ese enlace se recalculan los caminos en todos
- No hay cuentas a infinito
- Reaccion muy rapida

# Link-State: 3 distribuir LSPs

- El destino de los LSPs

Son todos los routers de la red

Es facil enviar a los vecinos pero no a cualquier router de la red... (no se las direcciones de todos, no puedo basarme en la tabla de rutas para llegar a ellos)

- Es necesario un sistema de envío a cualquier destino que no requiera que funcionen las tablas de rutas.

Inundación?

- La distribución de LSPs es el punto critico de los algoritmos de tipo link-state
  - Si no llega la información a todos, las rutas son incoherentes y puede haber ciclos de enrutamiento (recordar cuentas a infinito con un solo enlace en desacuerdo)
  - Si no tenemos cuidado la inundación puede causar mucho trafico extra, los routers pueden saturarse y dedicar gran parte de su cpu simplemente a recalcular rutas tras recibir

# Link-State: 3 distribuir LSPs

- Inundando LSPs
- Cada router escucha LSPs de sus vecinos y reenvía
- Como limitar el tráfico
  - TTLs?
  - Con LSPs ya estamos guardando estado (cada router recuerda el ultimo LSP de cada destino) usar esto para limitar la inundacion (ignorar un LSP si ya lo he visto)

# Link-State: 4 calcular rutas

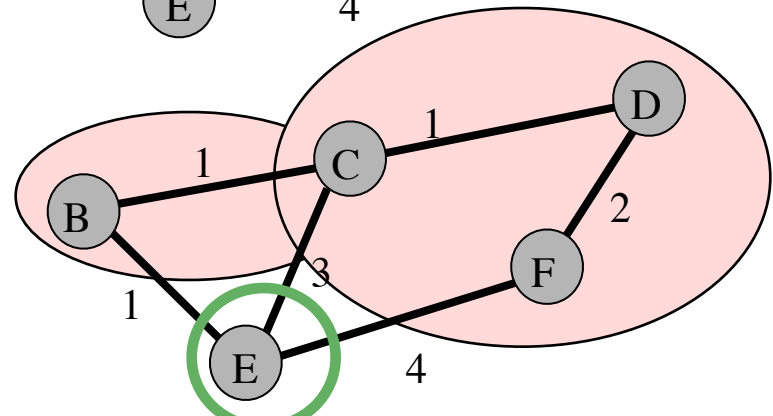
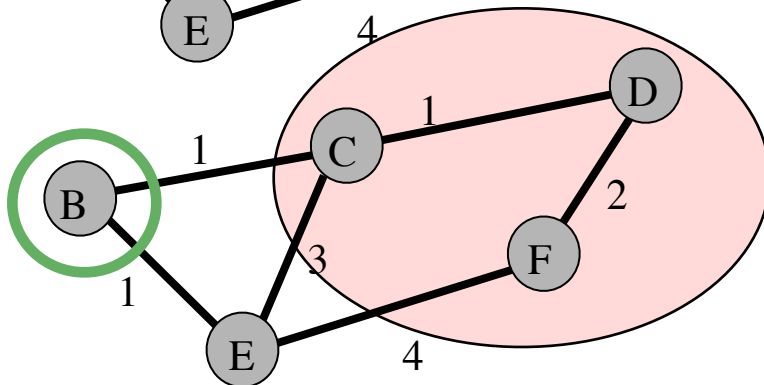
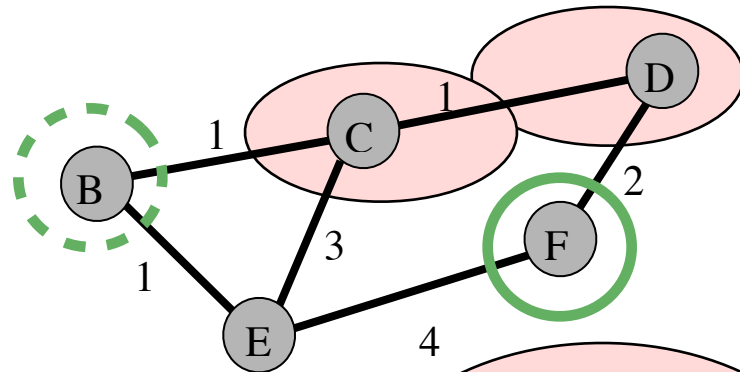
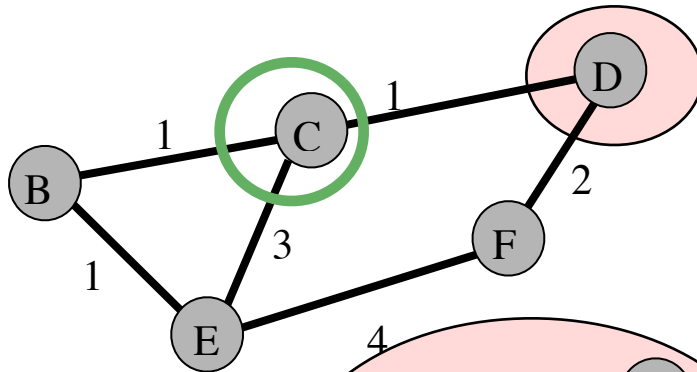
- Los LSPs se guardan en una link-state database
- Se utiliza el algoritmo de Dijkstra para calcular caminos
- Se colocan las rutas de este nodo teniendo en cuenta esos caminos
- Si la red es muy grande todos los routers necesitan mas recursos que en el caso de distance-vector
  - Deben almacenar todos los enlaces de la red  
(mucha mas memoria que el vector de distancias)
  - Deben calcular el algoritmo de Dijkstra cada vez que ven un cambio (mucho mas complicado que la iteracion del Bellman-Ford)
- La convergencia es rapida porque los LSPs llegan a todos y no hay ambigüedades de caminos ni cuentas a infinito.

# Algoritmos para encontrar caminos

- Algoritmo de **Dijkstra** para la distancia mínima
- Conocemos:       Nodos  $i$    Nodo raíz  $r$    pesos  $w(i,j)$
- Mantenemos:      $d(i)$  mejor distancia de  $r$  al nodo  $i$  conocida hasta ahora  
                            $T$  conjunto de nodos a los que ya conocemos la distancia mas corta  
                            *$d(i)$  es la distancia menor de  $r$  hasta el nodo  $i$  pasando solo por*  
                           *nodos que están en  $T$*
- Algoritmo:  
   Inicializar  
            $d(i)=\text{infinito}$     $d(r)=0$      si el nodo  $i$  es vecino de  $r$  [  $w(i,r)<\text{infinito}$  ]  $d(i)=w(i,r)$   
            $T=\{r\}$   
   Mientras haya nodos que no pertenezcan a  $T$   
       elegir el nodo  $i$  que no este en  $T$  con menor  $d(i)$   
       añadir el nodo  $i$  a  $T$   
       actualizar  $d(k)$  de los nodos vecinos al nodo  $i$  que no están en  $T$ .  
           Si  $d(i)+w(k,i) < d(k)$    entonces    $d(k)=d(i)+w(k,i)$   
           [es menor la distancia pasando por  $i$  que la que ya tenia]

# Dijkstra ejemplo

| T           | d(B)     | d(C) | d(D) | d(E)     | d(F) |
|-------------|----------|------|------|----------|------|
| {D}         | infinito | 1    | 0    | infinito | 2    |
| {D,C}       | 2        | 1    | 0    | 4        | 2    |
| {D,C,F}     | 2        | 1    | 0    | 4        | 2    |
| {D,C,F,B}   | 2        | 1    | 0    | 3        | 2    |
| {D,C,F,B,E} | 2        | 1    | 0    | 3        | 2    |



# Manteniendo el camino

- Usando el algoritmo de **Dijkstra** para el camino mínimo
- Conocemos:       Nodos  $i$    Nodo raíz  $r$    pesos  $w(i,j)$
- Mantenemos:      $d(i)$  mejor distancia de  $r$  al nodo  $i$  conocida hasta ahora  
                            **$s(i)$  siguiente nodo a  $i$  en el camino hacia  $r$**   
                            $T$  conjunto de nodos a los que ya conocemos la distancia mas corta

Algoritmo:

Inicializar

$d(i)=\text{infinito}$      $d(r)=0$     si el nodo  $i$  es vecino de  $r$  [  $w(i,r)<\text{infinito}$  ]  $d(i)=w(i,r)$

$T=\{r\}$

**$s(i)=\text{desconocido}$     si  $i$  es vecino de  $r$  [  $w(i,r)<\text{infinito}$  ]     $s(i)=r$**

Mientras haya nodos que no pertenezcan a  $T$

  elegir el nodo  $i$  que no este en  $T$  con menor  $d(i)$

  añadir el nodo  $i$  a  $T$

  actualizar  $d(k)$  de los nodos vecinos al nodo  $i$  que no están en  $T$ .

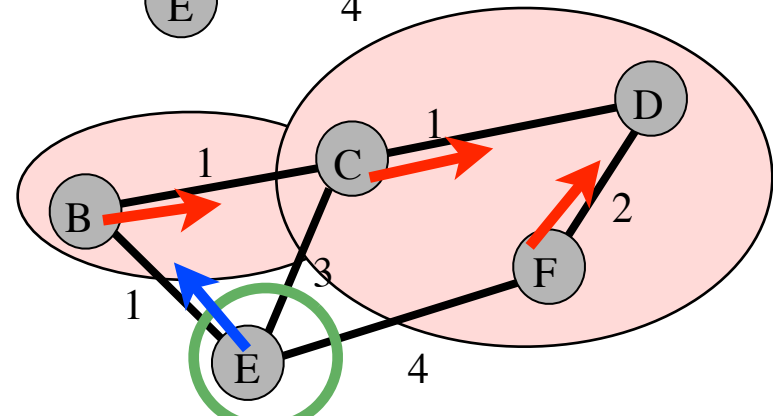
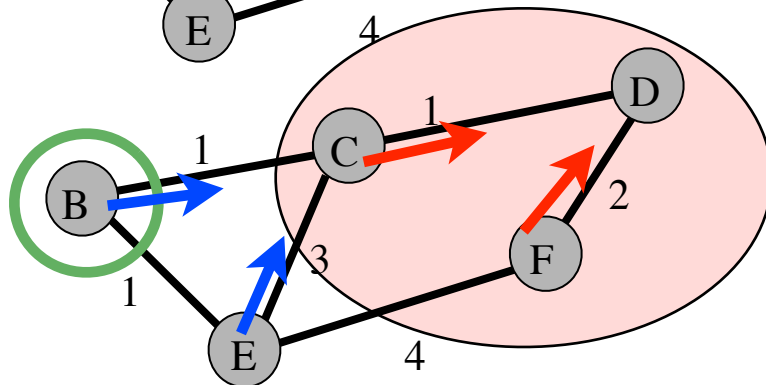
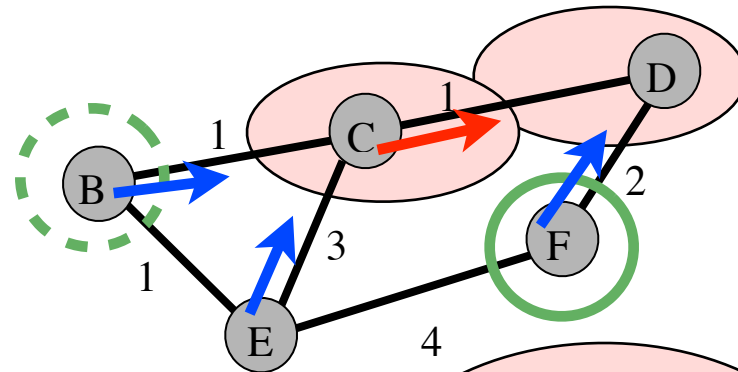
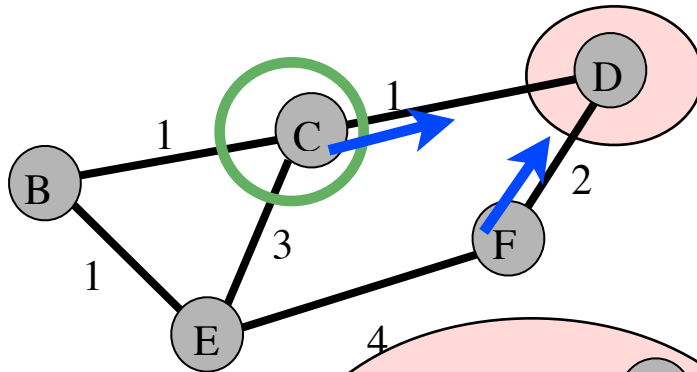
    Si  $d(i)+w(k,i) < d(k)$  entonces  $d(k)=d(i)+w(k,i)$

                          y tambien     $s(k)=i$

    [si el camino por  $i$  es mejor  $i$  es el nuevo siguiente salto de  $k$ ]

# Dijkstra ejemplo con camino

| T           | d(B) / s(B)     | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E)     | d(F) / s(F) |
|-------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|
| {D}         | infinito / desc | 1 / D       | 0 / soy yo  | infinito / desc | 2 / D       |
| {D,C}       | 2 / C           | 1 / D       | 0 / soy yo  | 4 / C           | 2 / D       |
| {D,C,F}     | 2 / C           | 1 / D       | 0 / soy yo  | 4 / C           | 2 / D       |
| {D,C,F,B}   | 2 / C           | 1 / D       | 0 / soy yo  | 3 / B           | 2 / D       |
| {D,C,F,B,E} | 2 / C           | 1 / D       | 0 / soy yo  | 3 / B           | 2 / D       |



# Enrutamiento en Internet

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

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios  
Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 2º

# Algoritmos de caminos mínimos

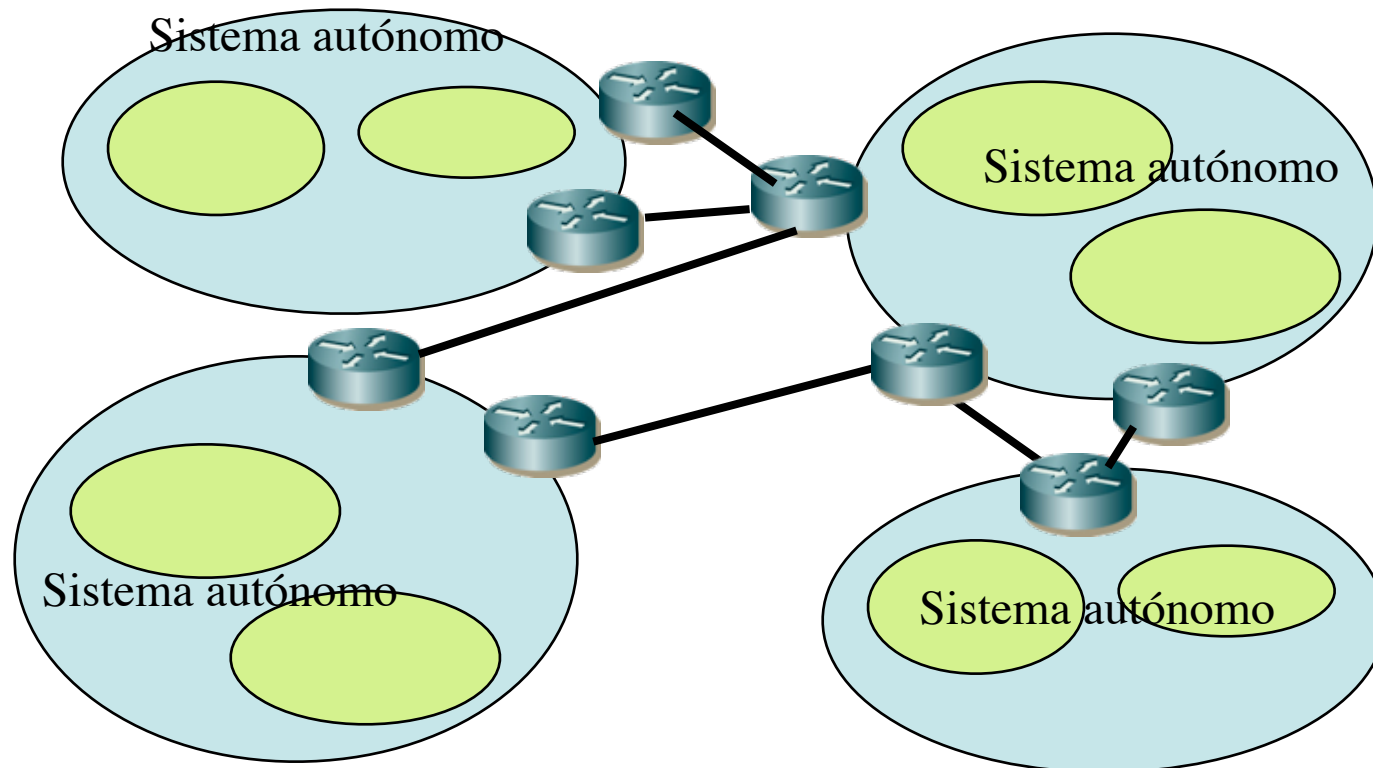
- Dijkstra vs Bellman-Ford
  - Los dos calculan el árbol de expansión mínimo para una raíz dada
  - Los dos algoritmos dan el mismo resultado
  - El resultado no tiene por que ser único (probad a hacer los ejemplos anteriores cambiando el peso de C-E a 2)
- Cuál es más rápido?
  - Parece que Bellman-Ford hace menos iteraciones pero las iteraciones de Dijkstra parecen más cortas y rápidas
- Cuál preferiríais programar?
- Normalmente se suele considerar mejor el algoritmo de Dijkstra para resolver el problema de los caminos en un grafo
- Bellman-Ford permite construir algoritmos distribuidos basados en el concepto distance-vector

# Distance-vector vs Link-state

- En uso de memoria: menor distance-vector
- En tráfico de red: controvertido distance-vector no hace inundacion pero la inestabilidad dura mas
- En carga de CPU: menor distance-vector
- En robustez: no esta claro. link-state es mas robusto frente a fallos no maliciosos
- En funcionalidad: link-state tiene muchas ventajas, ya que todos los routers conocen la topologia entera, es mas facil de depurar las situaciones de fallo, permite source-routing, caminos paralelos...
- Velocidad de convergencia: calramente mejor link-state

# Intradomain vs Interdomain

- Internet es un conjunto de sistemas autonomos con enrutamiento independiente
- Cada uno puede utilizar los protocolos de enrutamiento que elija internamente **intra-dominio**
- Hay protocolos para compartir las rutas entre dominios (**inter-dominio**)
  - Un protocolo común para hablar con cualquier otro sistema autonomo



# Conclusiones

- Protocolos de enrutamiento link-state
  - Mas complejos
  - pero en general mejores que distance-vector
- El problema de la red completa
  - Enrutamiento jerarquico
  - Enrutamiento intradominio e interdominio