

R1	
if0	190.1.0.1 / 16
if1	190.0.2.1 / 30
if2	190.0.2.5 / 30
if3	190.0.1.1 / 30
R2	
if0	190.2.0.1 / 16
if1	190.0.1.2 / 30
if2	190.0.2.9 / 30
if3	190.0.2.13 / 30
if4	190.0.1.5 / 30
R3	
if0	190.3.0.1 / 16
if1	190.0.1.6 / 30
if2	190.0.2.17 / 30
if3	190.0.2.21 / 30
if4	190.0.1.9 / 30

R4	
if0	190.4.0.1 / 16
if1	190.0.1.10 / 30
if2	190.0.2.25 / 30
if3	190.0.2.29 / 30
O1	
if0	190.0.3.2 / 30
if1	exterior
if2	190.0.3.10 / 30
O2	
if0	190.0.3.14 / 30
if1	190.0.3.6 / 30
if2	exterior

I1	
if0	190.0.2.2 / 30
if1	190.0.3.1 / 30
if2	190.0.3.5 / 30
if3	190.0.2.33 / 30
if4	190.0.2.26 / 30
if5	190.0.2.18 / 30
if6	190.0.2.10 / 30
I2	
if0	190.0.2.30 / 30
if1	190.0.2.22 / 30
if2	190.0.1.14 / 30
if3	190.0.2.6 / 30
if4	190.0.2.34 / 30
if5	190.0.3.9 / 30
if6	190.0.3.13 / 30

Figura 2: Red del problema 3.4

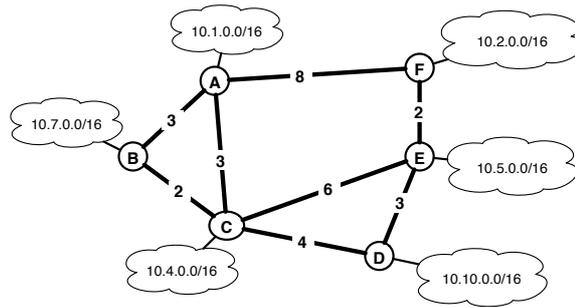
**Problema 3.4** Un operador de servicios de internet tiene la red que se ve en la figura 2. Un primer nivel de routers (R1-R4) cerca del usuario dan acceso a diferentes subredes IP. Los routers de este primer nivel estan interconectados con otros routers de primer nivel cercanos. Los routers de primer nivel tienen enlaces a dos routers de interconexión (I1-I2) y estos a dos routers exteriores (O1-O2). Los pesos de los enlaces son como se ve en la figura 2. Algunos enlaces tienen pesos altos porque no interesa que se usen salvo en caso de rotura de otros enlaces.

Los interfaces de los routers se numeran en el sentido de las agujas del reloj y en la figura se indica en cada uno cual es el interfaz if0. En la figura se dan los detalles de los interfaces de cada router

En la red se configura un protocolo de enrutamiento tipo link-state de forma que cada nodo recibe toda la información de la red y puede calcular los caminos a todas las subredes.

- Muestre que iteraciones emplea el algoritmo para calcular las mejores rutas desde el nodo R1 a todos los demas nodos y subredes. Trate las redes de acceso como un unico nodo con su correspondiente router y el exterior como un nodo mas
- Indique la tabla de rutas que generará el algoritmo de enrutamiento en el nodo R1 para cada una de las 4 redes y el exterior
- ¿Que camino seguirá un paquete enviado por la dirección 190.1..3.1 a la dirección IP 190.4.0.3? ¿Que camino seguirá un paquete enviado por la dirección 190.2.1.1 a la dirección 190.4.0.3? ¿Recorren estos paquetes el arbol de expansion? Razone la respuesta

**Pregunta 3.5:** En la red de la figura tenemos varios nodos cada uno de los cuales está conectado a sus propias redes. A los enlaces entre nodos se les asigna pesos como se ve en la figura



Suponga que se utiliza un algoritmo de tipo link-state para realizar el enrutamiento. En el nodo B se conoce toda la información de enlaces y nodos y se ejecuta el algoritmo de Dijkstra para obtener los caminos mas cortos desde B a cada red destino.

a) Muestre las iteraciones del algoritmo de Dijkstra necesarias para obtener los caminos a cada red, indicando en cada iteración la distancia a la red así como el camino

	d	10.1.0.0/16 next	d	10.2.0.0/16 next	d	10.4.0.0/16 next	d	10.5.0.0/16 next	d	10.7.0.0/16 next	d	10.10.0.0/16 next
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

b) ¿Qué condición hace que el algoritmo de Dijkstra se detenga? En cuantas iteraciones se detendrá en la pregunta anterior?

c) Que tabla de rutas se generará en el nodo B una vez completado el algoritmo? Indique en cada entrada de la tabla la distancia asociada a dicha entrada

Supongamos que una vez que las tablas de rutas están establecidas se cambia en los nodos el algoritmo de enrutamiento a uno de tipo distance-vector. Después de un tiempo de funcionamiento se producen cambios en la red. En un instante determinado el nodo B tiene la tabla de rutas que ha calculado en la pregunta b. Poco después recibe un mensaje de su vecino A indicándole el siguiente vector de distancias

```

Destino - distancia
10.1.0.0/16 0           10.2.0.0/16 2
10.4.0.0/16 3           10.5.0.0/16 4
10.7.0.0/16 3           10.10.0.0/16 7
  
```

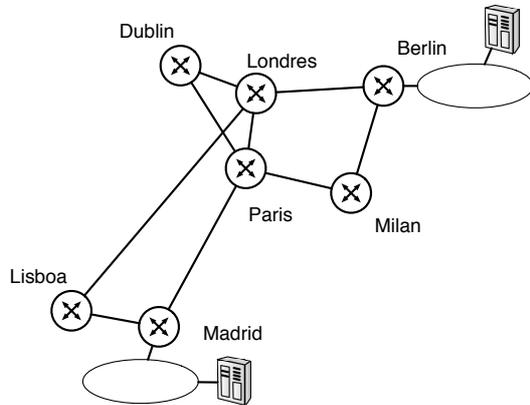
d) ¿Qué cambios provoca en la tabla de rutas de B la recepción de este mensaje?

**Problema 3.6:** Se ha establecido una red óptica entre las ciudades de la figura 3 (izquierda). En cada enlace de la red se utiliza WDM (wavelength division multiplexing) lo que permite usar 8 longitudes de onda para transmitir en 8 canales paralelos, cada uno de ellos a 20Gbps. La red va a explotarse utilizando conmutación de circuitos, permitiendo a la empresa propietaria de la red ofrecer circuitos de 20Gbps entre sus clientes que están situados en dichas ciudades. Para ello, una de estas longitudes de onda (la llamaremos longitud de onda de control) se utiliza para comunicar entre si a las unidades de control de cada nodo de forma que pueden enviarse mensajes entre si. Las otras 7 longitudes de onda son recursos que se pueden utilizar para establecer circuitos entre los nodos que lo soliciten.

Al establecer un circuito, por ejemplo entre dos empresas situadas en Madrid y Berlin, se decide un camino para el circuito y se ordena a los nodos del camino que reserven una longitud de onda en cada enlace necesario para establecer el camino, conectando un camino óptico desde el origen hasta el destino. Se dispone en cada nodo de capacidad de conversión de longitudes de onda, de forma que el camino puede estar formado por diferentes longitudes de onda en cada enlace, no es importante la longitud de onda elegida solo que haya una disponible.



- b) ¿En que número de Iteración se conocen por primer vez caminos para llegar a todos los nodos de la red aunque no sean mínimos? ¿Cuál es el camino de B a E en dicha iteración? ¿Cuál es el camino de B a E al final del algoritmo?
- c) Dibuje el árbol de expansión de coste mínimo obtenido. ¿Cuántos y cuales enlaces de la red original no están en el árbol de expansión?
- d) ¿Pueden eliminarse estos enlaces de la red? ¿Contiene el árbol de expansión obtenido toda la información de enrutamiento necesaria para la red? Razone la respuesta



Enlace	distancia	T propagación
Lisboa - Madrid	630 km	3.2 ms
Lisboa - Londres	1750 km	8.8 ms
Madrid - París	1275 km	6.4 ms
Dublín - Londres	590 km	3.0 ms
Dublín - París	1070 km	5.4 ms
París - Londres	460 km	2.3 ms
París - Milán	860 km	4.3 ms
Londres - Berlín	1110 km	5.6 ms
Milán - Berlín	1040 km	5.2 ms

**Problema 3.8:** Una cadena de banca europea ha alquilado longitudes de onda en una red de fibra óptica internacional para unir sus routers en diferentes sucursales de las ciudades que se ven en la figura. Estos enlaces tienen los retardos mostrados en la figura y una capacidad de transmisión de 10Gbps. La red de la empresa bancaria, se construye uniendo routers IP mediante estos enlaces. Una de las razones por las que esta empresa necesita una red de alta velocidad es que la política del banco es que todos las noches se envíe el backup del estado del sistema en cada una de las ciudades a la sede central en Berlín.

Si se utiliza un esquema de enrutamiento basado en Dijkstra en la red bancaria que trata de minimizar el retardo de propagación que experimentan los paquetes en llegar a cada destino. ¿Cuánto tiempo le cuesta llegar a cada paquete de datos enviado desde Madrid hasta su destino final donde esos datos son guardados en disco? Razone la respuesta indicando el camino que recorren los paquetes y mostrando los pasos del algoritmo que llevan a cabo los routers para decidir el camino.

**Problema 3.9:** Una empresa de ADSL tiene una red de distribución por los diferentes barrios de la ciudad como se ve en la figura. Los nodos A-F forman un anillo bien conectado en el que cada nodo está enlazado a los dos siguientes y los dos anteriores. El resto de nodos se han ido añadiendo a este anillo posteriormente y están menos enlazados. En el nodo A está la red de servidores de la empresa y la salida al exterior. La red está en producción utilizando enrutamiento dinámico de tipo link-state.

¿Que quiere decir eso?

- a) que en cada nodo la tabla de rutas ha sido configurada por el administrador y debe introducir el estado de cada enlace (de ahí el nombre link-state)
- b) que se utiliza un algoritmo distribuido para calcular las mejores rutas a cada destino (puede ser el algoritmo de Dijkstra o de Bellman-Ford indistintamente) a partir de los pesos de los enlaces entre los nodos (estos pesos son el estado del enlace o link-state)
- c) que en cada nodo se utiliza el algoritmo de Dijkstra para calcular los mejores caminos a cada destino, pero para ello previamente cada nodo debe disponer del estado de todos los enlaces entre nodos de la red (de ahí el nombre link-state)
- d) que en la red se utiliza el algoritmo distribuido de Bellman-Ford para calcular los mejores caminos a cada destino dependiendo del estado de los enlaces en cada instante (de ahí el nombre de link-state)

¿Cuántas iteraciones emplea el algoritmo de la respuesta anterior para tener asegurado el camino mas corto a todos los nodos en la red de nuestra empresa?

a) 3 b) 11 c) 6 d) 8

Su jefe ha oído que existe la posibilidad de emplear algoritmos de tipo distance-vector para el enrutamiento y cree que podrían ser mejores para esa red. Le pide que evalúe la posibilidad.

¿Cuántas iteraciones emplearía un algoritmo de tipo distance-vector en tener los caminos mas cortos a cada nodo de nuestra red?

a) 3 b) 11 c) 6 d) 8

¿Tiene razón su jefe en que es mejor un algoritmo de tipo distance-vector en cuestion de tiempo necesario para tener las rutas mas cortas?

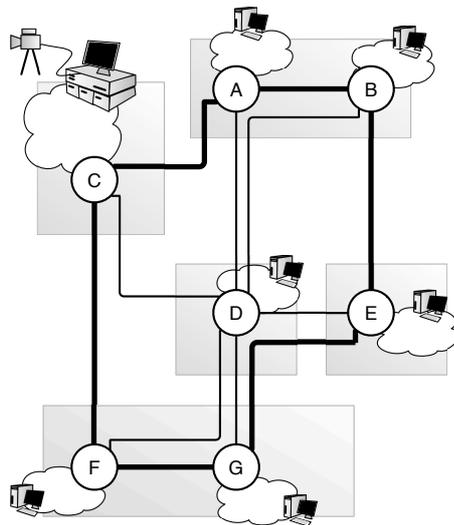
a) Tiene razon en que hace menos iteraciones pero eso es irrelevante para determinar el tiempo que tarda el algoritmo. De hecho los algoritmos de link-state se consideran mas avanzados que los vector-distance y no tardan mas tiempo.

b) No tiene razón, los dos emplean el mismo numero de iteraciones

c) Tiene razón pero por casualidad, el enrutamiento distance-vector usa el algoritmo de Dijkstra por lo que es más rapido que link-state que utiliza Bellman-Ford

d) No tiene razón, en este caso el algoritmo de Bellman-Ford hace mas iteraciones que Dijkstra

**Problema 3.10:** Una organización tiene 7 sedes en 5 ciudades. La red de cada sede esta conectada a la red exterior a través de un router. Designaremos a cada sede y a su router exterior con las letras A a G. Las sedes están interconectadas mediante una malla de enlaces de red privada virtual contratados a un operador de telecomunicaciones. Se han contratado diferentes enlaces de 5Mbpsy 10Mbps. Estos enlaces cursan el trafico que se envía entre las sedes de la multinacional de forma segura cifrando todos los datos antes de enviarlos. Los routers de salida tambien tienen conexión al resto de internet para el trafico que se intercambie con el otros destinos fuera de la organización. Los enlaces contratados entre las sedes se monitorizan continuamente midiendo el retardo de entrega de los paquetes entre nodos de la organizacion. En la figura se muestra la topología de la red y las características de los enlaces.



Enlace	BW contratado	RTT medido
C-A	10Mbps	≈ 60ms
A-B	10Mbps	≈ 60ms
B-E	10Mbps	≈ 60ms
C-D	5Mbps	≈ 45ms
A-D	5Mbps	≈ 45ms
B-D	5Mbps	≈ 45ms
C-F	10Mbps	≈ 60ms
F-G	10Mbps	≈ 60ms
G-E	10Mbps	≈ 60ms
F-D	5Mbps	≈ 45ms
G-D	5Mbps	≈ 45ms
E-D	5Mbps	≈ 45ms

Para organizar el enrutamiento del trafico interno de la organización se utiliza un algoritmo link-state que corre en cada uno de los routers exteriores. El protocolo es simple y esta configurado para inundar información cada 80 segundos. Solo propaga información periódicamente, no utiliza ningún tipo de triggered updates. Se pretende que se utilicen principalmente los enlaces de 10Mbps por lo que se considerarán estos con peso 1 y los de menor ancho de banda 5Mbps como peso 2. Suponiendo que se pone a funcionar en todos los nodos en el mismo momento.

Explique el funcionamiento del algoritmo de enrutamiento y los caminos que decidirá desde C hasta el resto de los nodos.

¿Cuanto tiempo tardara la red en converger a las mejores rutas para todos los destinos usando el algoritmo anterior?

a) menos de 80 segundos

b) unos 80 segundos

c) unos 160 segundos

d) unos 240 segundos

e) unos \_\_\_\_\_ x 80 segundos = \_\_\_\_\_

¿Cómo cambiaría la respuesta a las dos preguntas anteriores si utilizáramos un algoritmo de tipo distance-vector que propagara información cada 80 segundos y no utilizara ningún tipo de triggered updates?