

Encaminamiento en Internet OSPF

Sistemas Telemáticos para Medios Audiovisuales

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones y
Sistemas Telemáticos y Computación (GSyC)

Septiembre 2018



©2018 Grupo de Sistemas y Comunicaciones.
Algunos derechos reservados.
Este trabajo se distribuye bajo la licencia
Creative Commons Attribution Share-Alike
disponible en <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/es>

Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

Contenidos

- 1 **Introducción**
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

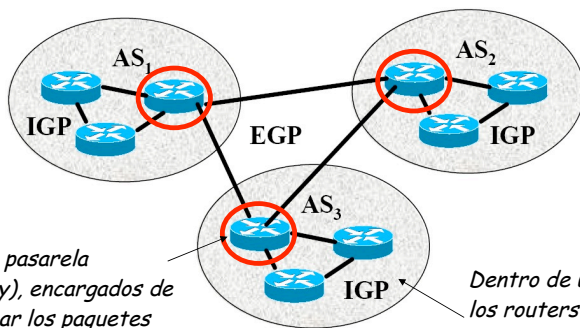
Protocolos de encaminamiento en Internet:

Protocolos Interiores y Exteriores

- A principios de los 80 Internet era una sola red desde el punto de vista administrativo. Las tablas mantenían entradas para todas las subredes. Problemas:
 - Escalabilidad
 - Autonomía administrativa
- En 1982 se decide agrupar subredes en **Sistemas Autónomos (AS)** y eliminar la centralización administrativa:
 - Cada AS ejecuta un **Protocolo Interior de Encaminamiento (IGP)**, Interior Gateway Protocol) para sus subredes:
 - RIP (Routing Information Protocol)
 - OSPF (Open Shortest Path First)
 - IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)
 - IS-IS (Intermediate System to Intermediate System)
 - Algunos routers de cada AS ejecutan entre sí un **Protocolo Exterior de Encaminamiento (EGP)**, Exterior Gateway Protocols) para la interconexión de un AS con el resto:
 - BGP (Border Gateway Protocol).

AS, IGP y EGP

- Relación entre sistemas autónomos y protocolos interiores y exteriores de encaminamiento:



Routers pasarela (gateway), encargados de encaminar los paquetes hacia otros AS.

Dentro de un AS, todos los routers ejecutan el mismo protocolo de encaminamiento

Familias de Protocolos de Encaminamiento

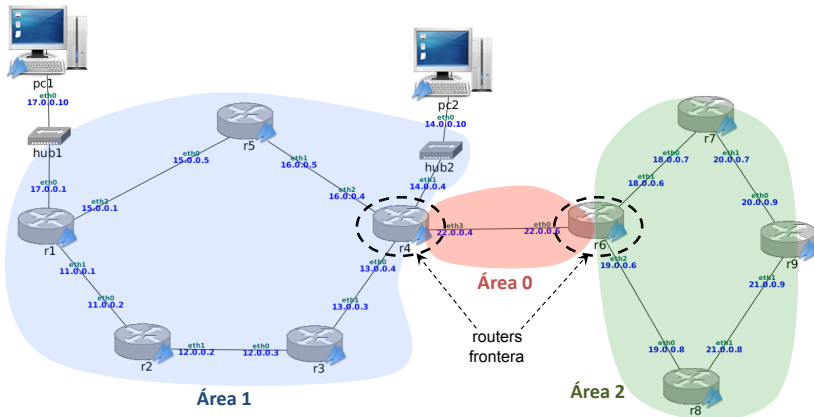
- Los protocolos de encaminamiento pueden clasificarse en dos grandes grupos:
 - Protocolos de **Vector de Distancia** (*Distance Vector Protocols*):
 - Los *routers* envían a sus *routers vecinos* la *información de todas las subredes que conocen* (paquete de vector de distancias).
 - Con la información recibida, cada *router* actualiza su tabla de encaminamiento, incluyendo en ella las rutas de menor coste a cada una de las subredes destinatarias.
 - Ejemplos: RIP, IGRP
 - Protocolos de **Estado de Enlace** (*Link State Protocols*)
 - Los *routers* envían a todos los *routers* (por inundación) la *información de cuáles son sus routers y subredes vecinos* (paquete del estado de enlace).
 - Con la información recibida, cada *router* puede construir el mapa de toda la red, conociendo la forma de interconexión de todos los *routers* entre sí. Sobre ese mapa de la red, cada *router* aplicará un algoritmo simple (ej.: algoritmo de Dijkstra) para construir la tabla óptima de encaminamiento.
 - Ejemplos: OSPF, IS-IS

OSPF (*Open Shortest Path First*)

- Es un protocolo de la familia **Estado de Enlace**.
- OSPF es el protocolo interior recomendado en redes TCP/IP.
- Versión actual: versión 2 (RFC-2328, Abril 1998)
- Los mensajes OSPF se encapsulan directamente dentro de datagramas IP, con número de protocolo 89 (TCP=6, UDP=17)

Jerarquía en OSPF

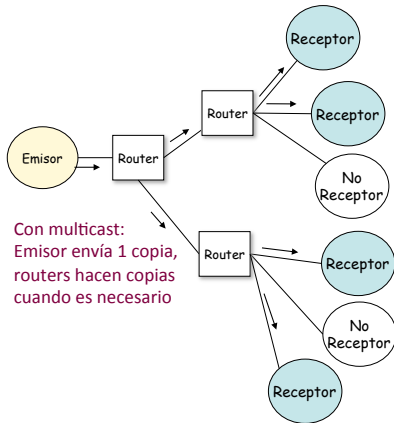
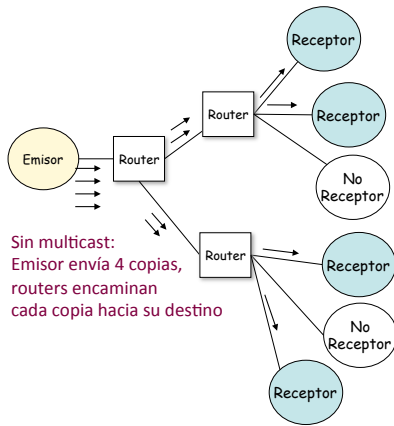
- Puede usarse en sistemas autónomos relativamente grandes.
- Permite el encaminamiento jerárquico definiendo **áreas** dentro del sistema autónomo.
 - **ÁREA**: Colección arbitraria de redes, máquinas y *routers*. La topología de un área se mantiene oculta para el resto de áreas. El intercambio de rutas entre áreas se realiza a través del *router borde de área* o *router frontera*.
 - **BACKBONE** o **ÁREA 0**: Interconecta todas las demás áreas del sistema autónomo. Cada una de las restantes áreas tendrá un *router* de frontera en el Backbone.



OSPF utiliza IP multicast (I)

Idea de multicast

Un emisor (E) envía un mismo mensaje a un conjunto de receptores (R).

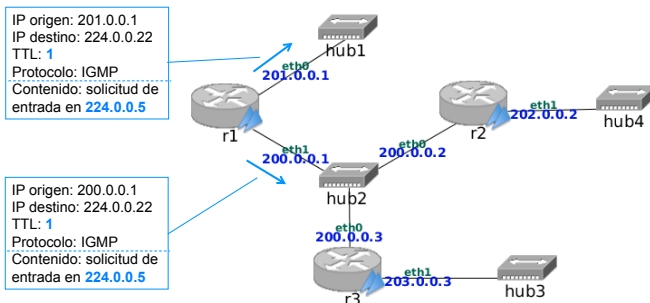


OSPF utiliza IP multicast (II)

- En vez de forzar al emisor a enviar N copias (una por cada receptor) de un determinado mensaje, el emisor envía un **único mensaje dirigido a un conjunto de receptores**.
- El conjunto de receptores se especifica mediante una dirección IP especial, denominada dirección IP de un grupo multicast: **224.0.0.5**. El rango de direcciones multicast va desde 224.0.0.0 a 239.255.255.255
- Cuando una máquina desea formar parte de un grupo multicast y por tanto recibir los paquetes que van dirigidos a ese grupo, debe utilizar el **protocolo IGMP** (Internet Group Management Protocol) para enviar su solicitud de pertenencia al grupo.
 - Este mensaje irá dirigido al grupo 224.0.0.22, al que pertenecen todos los *routers* IGMP.
 - Ese mensaje incluye la dirección IP del grupo al que se desea pertenecer.

OSPF utiliza IP multicast (III)

- La dirección IP multicast 224.0.0.5 está reservada para OSPF:
- Cuando arranca el *router* OSPF r1 envía (por todas las interfaces donde tiene activado el protocolo OSPF) un mensaje IGMP de solicitud para entrar en el grupo multicast 224.0.0.5
- El *router* r1 utilizará la dirección destino 224.0.0.5 para comunicarse con sus *routers* vecinos y enviarles la información de encaminamiento del protocolo OSPF.
- De la misma forma, cualquier mensaje de OSPF que un *router* vecino a r1 envíe a la dirección 224.0.0.5 será recibido por r1.



Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF**
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

Funcionamiento general de OSPF

- **Descubrimiento de vecinos** (otros *routers* OSPF conectados a su misma subred) mediante mensajes HELLO.
- **Intercambio de la base de datos topológica de OSPF** mediante mensajes LS UPDATE (*Link State Update*) que se envían por inundación. Cada *router* con todos los mensajes LS UPDATE mantiene una base de datos (*Link State DB*) que representa **topología completa de la red**.
- **Cálculo del Algoritmo de Dijkstra en cada *router***, partiendo de la base de datos de la topología de la red. Dicho algoritmo permitirá rellenar la tabla de encaminamiento del *router*.
- Los **cambios en la topología** se comunican mediante nuevos mensajes LS UPDATE.

Algoritmo de Dijkstra

- En una red, dadas las distancias entre cada par de nodos adyacentes, el **Algoritmo de Dijkstra** permite encontrar las rutas de distancia mínima desde cada nodo al resto.

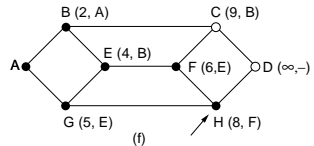
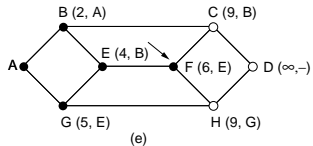
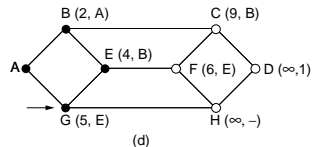
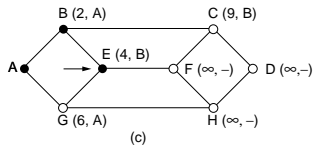
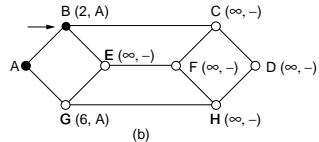
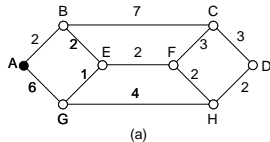


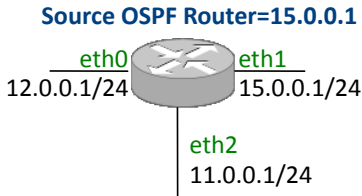
Fig. 5-6. The first five steps used in computing the shortest path from A to D. The arrows indicate the working node.

Algoritmo de Dijkstra en OSPF

- Gracias a los mensajes LS UPDATE, cada *router* conocerá la topología completa de la red, y aplicará el algoritmo de Dijkstra para obtener las mejores rutas hacia el resto de nodos. Con el resultado obtenido actualizará su tabla de encaminamiento.
- Todos los *routers* partirán de los mismos datos sobre la topología de la red por lo que todas las rutas serán consistentes y óptimas.
- Cuando hay cambios en la topología (nuevos enlaces, nuevos *routers*, enlaces que caen, *routers* que se apagan...) los mensajes de estado de enlace harán llegar la información a todos los *routers*, y éstos aplicarán otra vez el algoritmo de Dijkstra para encontrar las nuevas rutas.

Identificador de un *router* OSPF

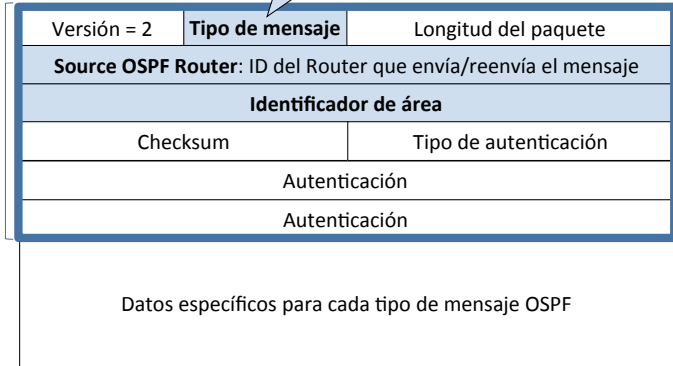
- Un *router* OSPF tiene asignado un **identificador de 32 bits**, único en todo su AS. Puede asignarse explícitamente en la configuración del *router*. Es habitual elegir como identificador la dirección IP más alta de las interfaces donde tenga activado OSPF.
- Cuando un *router* envía (o reenvía) un mensaje OSPF, escribe su identificador en el campo **Source OSPF Router** de la cabecera de los mensajes OSPF.



Formato de mensaje OSPF

Cabecera OSPF

- 1: HELLO
- 2: DB Descr
- 3: LS Request
- 4: LS Update
- 5: LS ACK



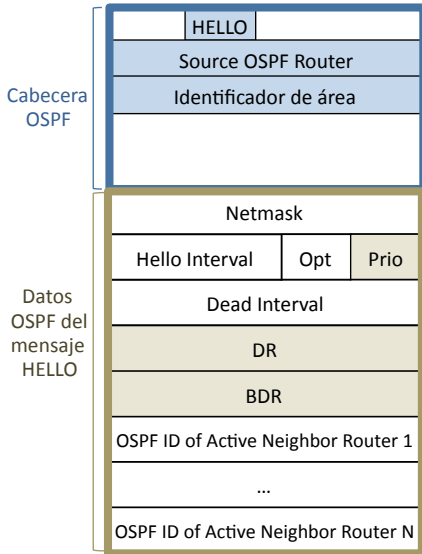
Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO**
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

Protocolo HELLO

- Los mensajes HELLO permiten a un *router* OSPF
 - Descubrir nuevos *routers* OSPF vecinos.
 - Comprobar que se mantiene la accesibilidad con los *routers* OSPF vecinos ya conocidos.
 - Elegir el DR y BDR de cada subred, o informar de cuáles son si ya están elegidos.
- Los mensajes HELLO se envían por todas las interfaces que tienen activado el protocolo OSPF de un *router*.
- Los mensajes HELLO **se envían periódicamente**, cada 10 segundos, dirigidos a la dirección de multicast 224.0.0.5.
- Se considera que un vecino está desconectado si no se recibe de él ningún HELLO en 40 segundos.
- Los mensajes HELLO **no se propagan por inundación**, sólo tienen sentido en la subred en la que se generan.

Formato de mensaje HELLO

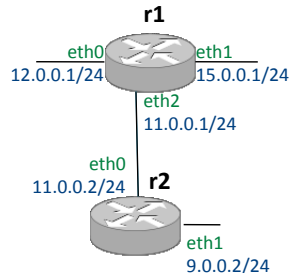


- **Netmask**: Máscara de la subred donde se envía el mensaje.
- **Hello Interval**: intervalo en segundos entre mensajes HELLO consecutivos (10 seg)
- **Prio**: prioridad del *router* que envía el mensaje HELLO para la elección de DR/BDR.
- **Dead Interval**: período en segundos en el que se considera a un vecino OSPF desaparecido si no se recibe de él un nuevo HELLO (40 seg)
- **DR**: Designated Router
- **BDR**: Backup Designated Router.
- **OSPF ID of Active Neighbor i**: Identificadores de los *routers* OSPF vecinos de éste de los que tiene conocimiento (han enviado un HELLO).

Protocolo HELLO: DR (*Designated Router*)

- Los mensajes HELLO permiten elegir el DR de la subred por la que se envían.
- El **Router Designado (DR, Designated Router)** de una **subred** es el *router* representante de esa subred y se encarga de crear los mensajes que contienen información sobre ella.
- El DR de una subred se expresa con **la dirección IP dentro de esa subred de uno de los *routers* que están conectados a ella.**

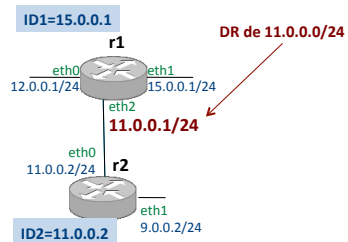
Ejemplo: en la subred 11.0.0.0/24 el DR puede ser 11.0.0.1 o 11.0.0.2.



Protocolo HELLO: Elección de DR

- Si en la red no hay un DR elegido, al arrancar un *router* enviará mensajes HELLO con el campo DR vacío (0.0.0.0). Transcurridos 40 segundos se elegirá el DR teniendo en cuenta los siguientes criterios:
 - Cada *router* elige como DR el *router* que envíe mayor número en el campo Prio de los mensajes HELLO.
 - En caso de empate en ese campo, cada *router* elige como DR el que tenga mayor **identificador** (Source OSPF router).

Ejemplo: en la subred
11.0.0.0/24 el DR será:
11.0.0.1



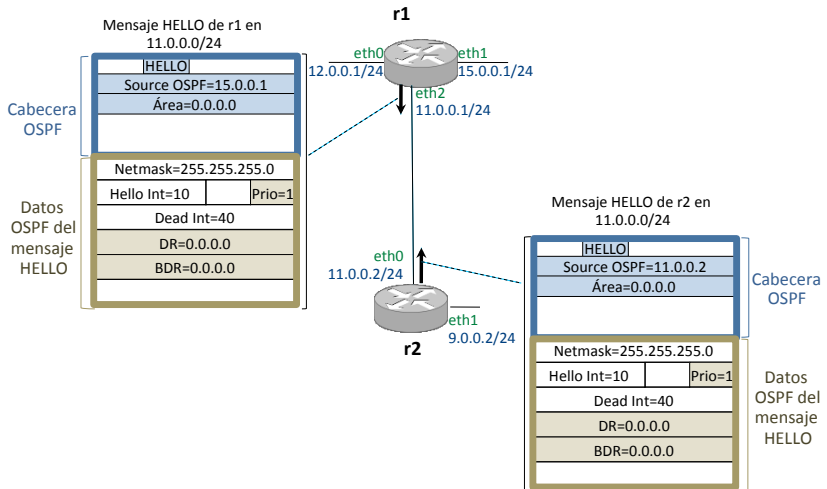
- Una vez elegido el DR, se coloca su IP en el campo correspondiente de los mensajes HELLO.
- Si en la red ya hay un DR elegido, al arrancar un *router* éste recibirá mensajes HELLO con la dirección IP del DR.

Protocolo HELLO: BDR (*Backup Designated Router*)

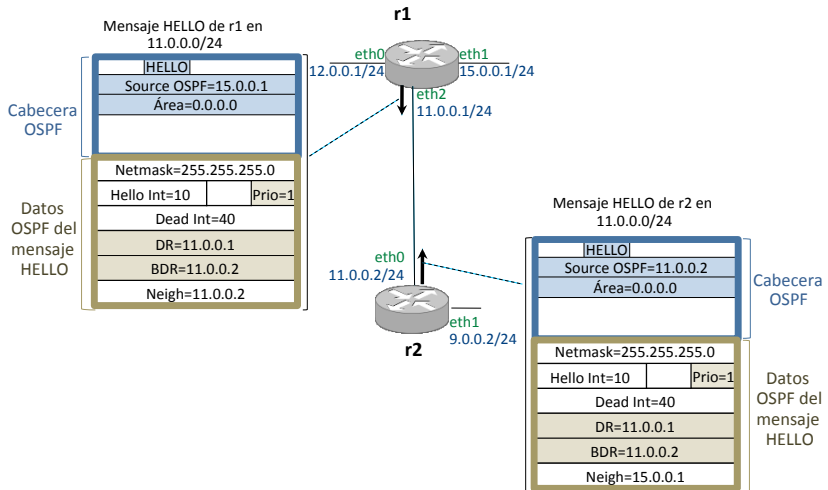
- Los mensajes HELLO permiten elegir (adicionalmente al DR) el BDR, que es el DR “de reserva”.
- Se elige como BDR el segundo mejor *router* según los criterios de elección de DR.
- Una vez elegido BDR, la dirección IP del BDR en esa subred se enviará en el campo BDR de los mensajes de HELLO.
- Si el DR deja de funcionar (deja de enviar un HELLO en 40 segundos), el BDR se convierte en el nuevo DR y se elegirá un nuevo BDR.
- **Una vez elegidos DR y BDR en una subred si se conecta un nuevo *router* a esa subred, no se modifica el DR ni el BDR,** incluso aunque los *routers* que se conecten tengan mayor prioridad o mayor identificador.
- Si en una subred sólo hay conectado un *router* OSPF, éste se elegirá como DR y no habrá BDR. Si posteriormente arrancan otros *routers* OSPF conectados a esa subred, se elegirá entre ellos el BDR.

Ejemplo: elección de DR y BDR (I)

- r1 y r2 comienzan a ejecutar OSPF simultáneamente.



Ejemplo: elección de DR y BDR (II)

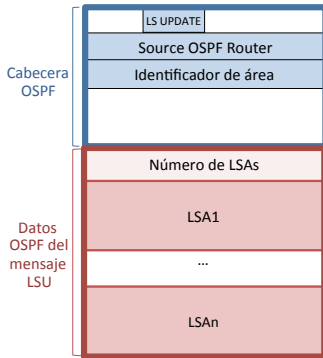


Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE**
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

Mensajes LS UPDATE (*Link State Update*)

- Un mensaje LS UPDATE contiene información de estado de enlace que permite a los *routers* OSPF reconstruir la topología de la red del AS.
- La información que contiene un LS UPDATE está representada por 1 o más LSA (*Link State Advertisements*), Anuncios de Estado de Enlace.



Estudiaremos distintos tipos de LSA:

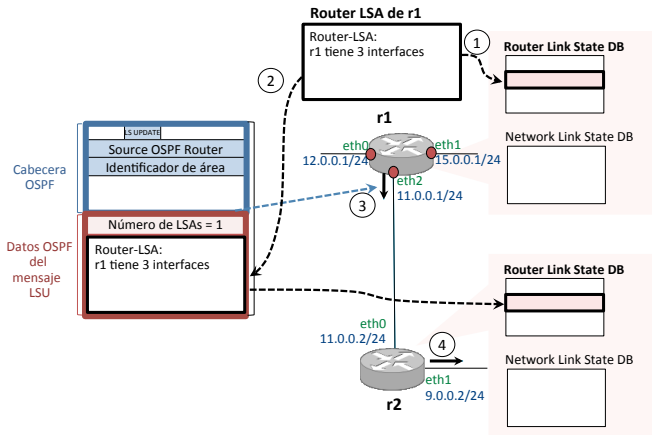
- **Router LSA** (*Router Link State Advertisement*): Cada *router* OSPF genera un LSA de este tipo para informar de las interfaces que tiene configuradas.
- **Network LSA** (*Network Link State Advertisement*): El DR de cada subred que contenga dos o más *routers* OSPF genera un LSA de este tipo para informar de los *routers* que se encuentran conectados a dicha subred.

- Los LSA se envían siempre contenidos dentro de un mensaje LS UPDATE.
- Cada *router* almacena todos los LSA (los suyos y los que recibe de otros *routers*) en una base de datos, una por cada tipo de LSA
 - Router Link State DB: para los mensajes Router LSA
 - Network Link State DB: para los mensajes Network LSA

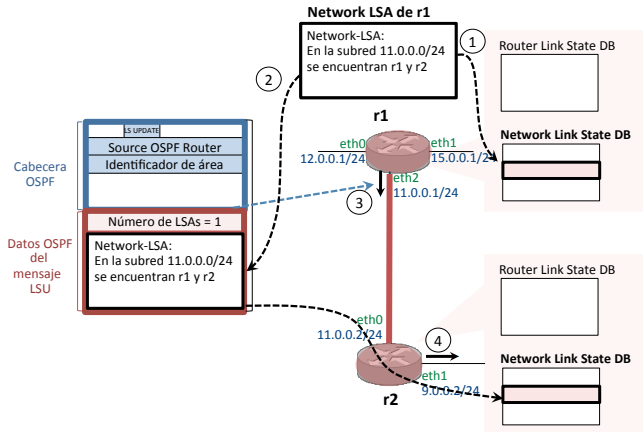
Router LSA

- Cuando un *router* genera un Router LSA:

- 1 Lo almacena en su propia base de datos Router Link State Database
- 2 Genera un mensaje LS UPDATE con el LSA
- 3 Lo envía SÓLO por las interfaces donde sabe que hay otros *routers* OSPF vecinos.
- 4 Es un envío **por inundación**: los que lo reciban lo reenviarán a sus vecinos (y lo almacenarán en su DB), y así sucesivamente



- Cuando el *router* DR de una subred genera un Network LSA:
 - 1 Lo almacena en su base de datos Network Link State Database
 - 2 Genera un mensaje LS UPDATE con el LSA
 - 3 Lo envía SÓLO por las interfaces donde sabe que hay otros *routers* OSPF vecinos.
 - 4 Es un envío **por inundación**: los que lo reciban lo reenviarán a sus vecinos (y lo almacenarán en su DB), y así sucesivamente.

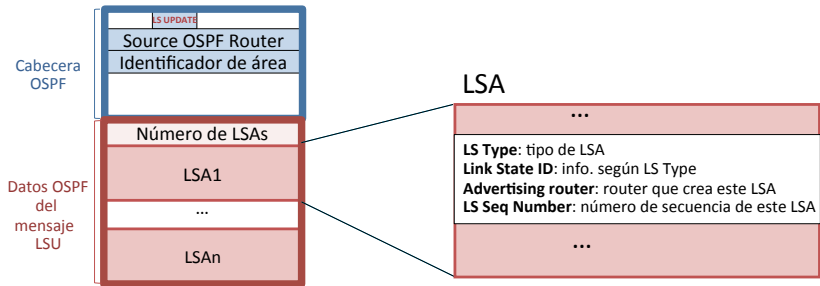


Número de secuencia de cada LSA

- Cada LSA queda identificado por estos 3 campos:
 - LS Type: Tipo de LSA
 - Link State ID: Info. dependiente del tipo de LSA.
 - En el caso de Router-LSA contiene el identificador de router, en el caso de Network-LSA contiene información de la subred que describe.
 - Advertising router: Identificador del router que lo ha creado
- El *router* que genera un LSA le asigna un número de secuencia, que viajará en el propio LSA.
- **Ningún otro router que reciba el LSA modificará el valor del número de secuencia durante el proceso de envío por inundación.**
- Los espacios de números de secuencia que un *router* utiliza para generar un LSA descrito como (LS Type, Link State ID) son diferentes.
 - La primera vez que un router genera su router-LSA, establece una cuenta para dichos mensajes, comenzando en 1. Si hay una modificación en las interfaces de ese router, éste enviará un nuevo Router-LSA aumentando en 1 el número de secuencia para dicha cuenta.
 - La primera vez que un DR genera el network-LSA, establece una cuenta para dichos mensajes, comenzando en 1. Si hay una modificación en los routers conectados a una subred, el DR enviará un nuevo Network-LSA de dicha subred aumentando en 1 el número de secuencia para dicha cuenta.

Utilidad del número de secuencia de cada LSA

- **El número de secuencia se utiliza para saber si un mensaje es antiguo:** Si dos mensajes son del mismo tipo y han sido generados por un mismo *router*, el mensaje cuyo número de secuencia sea mayor será el mensaje más moderno.



Encaminamiento por inundación

- En general, el **envío por inundación** se utiliza cuando aún no se dispone de otra información para encaminar (ejemplo: al arrancar o como paso intermedio de algún protocolo de encaminamiento).
- Funcionamiento básico:
 - ❶ Cada paquete recibido por un nodo es reenviado a todos los vecinos excepto al que se lo envió a él.
 - ❷ Los paquetes van etiquetados y numerados.
 - ❸ Si un nodo recibe un paquete que ya ha reenviado, lo descarta.

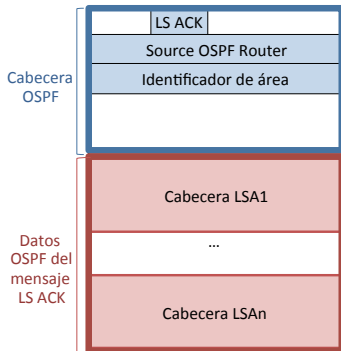
Inundación de LSAs en OSPF

- Todos los mensajes OSPF llevan TTL=1. Por tanto, para que la inundación se realice, cuando un *router* recibe un LSA:
 - si ya lo tenía en su base de datos, o es más antiguo que el que tiene, el **LSA es obsoleto**: lo descartará y **no lo reenviará**
 - si no lo tenía en su base de datos, o es más nuevo que el que tiene, el **LSA es nuevo**: lo almacenará (sustituyendo el mensaje antiguo en su caso) y **lo reenviará SÓLO por las interfaces donde hay otros routers OSPF vecinos**. Para reenviarlo, generará una nueva cabecera obligatoria OSPF con el id del router que reenvía en el campo Source OSPF Router y el mensaje contendrá el LSA. No lo reenviará por la interfaz por donde lo había recibido.

¿Cómo saber si un LSA es obsoleto?

- Para comparar LSAs se utilizan los 3 campos que lo identifican (LS Type, Link State ID, Advertising Router) junto con el número de secuencia:
 - **Un LSA recibido es obsoleto** si su número de secuencia es **menor o igual** que el último número de secuencia almacenado en la BD para ese mismo LSA (mismos 3 campos que lo identifican).
 - **Un LSA recibido es nuevo** si su número de secuencia es **mayor** que el último número de secuencia almacenado en la BD para ese mismo LSA (mismos 3 campos que lo identifican), o bien si un LSA con esos 3 campos **aún no estaba** en la BD.

Fiabilidad en la inundación de LSAs



- Cada LSA contenido en un mensaje LS UPDATE debe ser asentido con un mensaje LS ACK, enviado a la dirección 224.0.0.5. Un LS ACK puede asentar varios LSA.
- No es necesario que todos los LSA contenidos en un único mensaje LS UPDATE sean asentidos con un único mensaje LS ACK.
- Si no se recibe de algún *router* un LS ACK para un cierto LSA en 5 segundos, se reenviará dicho LSA en un nuevo LS UPDATE (los reenvíos se realizan de forma unicast al *router* que no ha asentido el LSA).

Bases de datos de OSPF

- Router Link States DB:

En esta base de datos hay **una entrada por cada router OSPF** de la red, indicando los datos de cada una de sus interfaces. Cada entrada contiene el **último mensaje** Router-LSA enviado por cada *router* OSPF.

Router Link States DB
Último Router-LSA de Router 1
Último Router-LSA de Router 2
...
Último Router-LSA de Router n

- Network Link States DB:

En esta base de datos hay **una entrada por cada subred en la que hay más de un router OSPF**, indicando los *routers* OSPF que están conectados en dicha subred. Cada entrada contiene el **último mensaje** Network-LSA enviado por el *router* DR de cada una de las subredes en la que hay más de un *router* OSPF conectado.

Network Link States DB
Último Network-LSA del DR de la subred 1
Último Network-LSA del DR de la subred 2
...
Último Network-LSA del DR de la subred m

Campos de un *Router LSA*

- Un **Router LSA** contiene la siguiente información (tal y como la muestra wireshark):

LS age	número de segundos que han pasado desde que el LSA fue generado. Este valor aumenta: cada vez que un <i>router</i> reenvía (inundación) un anuncio generado por otro <i>router</i> (aumenta un segundo) y cuando se almacena en una base de datos de un <i>router</i> (aumenta según van pasando los segundos)	
LS Type	router-LSA	
Link State ID	ID del <i>router</i> que generó el anuncio	
Advertising router	ID del <i>router</i> que generó el anuncio	
LS Seq Number	número de secuencia	
Number of Links	número de interfaces del <i>router</i>	
	Link Type (1)	Dos tipos: Stub: No hay otros <i>routers</i> OSPF en esa interfaz Transit: Hay otros <i>routers</i> OSPF en a esa interfaz
	Link ID (1)	En Stub: Red a la que está conectado el <i>router</i> . En Transit: DR de esa subred (su IP)
	Link Data (1)	En Stub: Máscara En Transit: IP de este <i>router</i> en esa subred
	Metric (1)	Coste (10 por defecto)
	Link Type (2)	...

	Link Type (n)	...

Base de datos: *Router Link States*

- Cada *router* tiene una base de datos con la información de las interfaces de todos los *routers* OSPF.

Router-LSA Router 1	LS age	número de segundos que han pasado desde que el LSA fue generado. Este valor aumenta: cada vez que un <i>router</i> reenvía (inundación) un anuncio generado por otro <i>router</i> (aumenta un segundo) y cuando se almacena en una base de datos de un <i>router</i> (aumenta según van pasando los segundos)	
	LS Type	router-LSA	
	Link State ID	ID del <i>router</i> que generó el anuncio	
	Advertising router	ID del <i>router</i> que generó el anuncio	
	LS Seq Number	número de secuencia	
	Number of Links	número de interfaces del <i>router</i>	
	Link Type (1)	Dos tipos: Stub: No hay otros <i>routers</i> OSPF en esa interfaz Transit: Hay otros <i>routers</i> OSPF en a esa interfaz	
	Link ID (1)	En Stub: Red a la que está conectado el <i>router</i> . En Transit: DR de esa subred (su IP)	
		En Stub: Máscara En Transit: IP de este <i>router</i> en esa subred	
		Coste (10 por defecto)	
		Link Type (2)	...
	
		Link Type (n)	...
	

Router-LSA Router 2	...
------------------------	-----

...

...

Router-LSA Router n	...
------------------------	-----

Base de datos: *Router Link States*

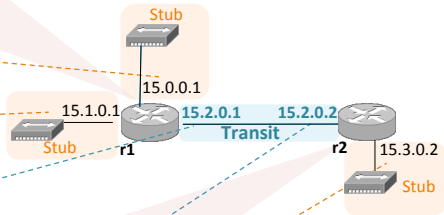
Router-LSA
de r1

ROUTER LINK STATE (en r1 y r2)

LS age	100
LS Type	Router-LSA
Link State ID	15.2.0.1
Adv Router	15.2.0.1
Ls Seq Number	3
Number of Links	3
	Link Type: Stub
	Link ID (Net): 15.0.0.0
	Link Data (Mask): 255.255.255.0
	Metric: 10
	Link Type: Stub
	Link ID (Net): 15.1.0.0
	Link Data (Mask): 255.255.255.0
	Metric: 10
	Link Type: Transit
	Link ID (DR): 15.2.0.2
	Link Data (Iface): 15.2.0.1
	Metric: 10

Router-LSA
de r2

LS age	105
LS Type	Router-LSA
Link State ID	15.3.0.2
Adv Router	15.3.0.2
Ls Seq Number	3
Number of Links	2
	Link Type: Transit
	Link ID (DR): 15.2.0.2
	Link Data (Iface): 15.2.0.2
	Metric: 10
	Link Type: Stub
	Link ID (Net): 15.3.0.0
	Link Data (Mask): 255.255.255.0
	Metric: 10



Campos de un *Network LSA*

- Un **Router LSA** contiene la siguiente información (tal y como la muestra wireshark):

LS age	número de segundos que han pasado desde que el LSA fue generado. Este valor aumenta: cada vez que un <i>router</i> reenvía (inundación) un anuncio generado por otro <i>router</i> (aumenta un segundo) y cuando se almacena en una base de datos de un <i>router</i> (aumenta según van pasando los segundos)
LS Type	network-LSA
Link State ID	DR que generó el anuncio (su IP)
Advertising router	ID del <i>router</i> que generó el anuncio (ID del DR)
LS Seq Number	número de secuencia
Network Mask	máscara de la subred
	Attached Router: ID del <i>router</i> conectado a esa subred
	Attached Router: ...
	Attached Router: ...

Base de datos: *Network Link States*

- Cada *router* tiene una base de datos con la información de las subredes en las que hay más de un *router* OSPF, indicando qué *routers* se encuentran conectados en cada una de esas subredes.

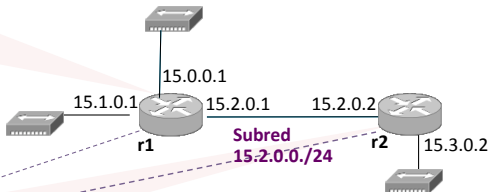
Network-LSA 1	LS age	número de segundos que han pasado desde que el LSA fue generado. Este valor aumenta; cada vez que un <i>router</i> reenvía (inundación) un anuncio generado por otro <i>router</i> (aumenta un segundo) y cuando se almacena en una base de datos de un <i>router</i> (aumenta según van pasando los segundos)
	LS Type	network-LSA
	Link State ID	IP en la red que se anuncia del <i>router</i> que generó el anuncio
	Advertising router	ID del <i>router</i> que generó el anuncio (ID del DR)
	LS Seq Number	número de secuencia
	Network Mask	máscara de la subred
		Attached Router: ID del <i>router</i> conectado a esa subred
Network-LSA 2		...
...		...
Network-LSA 3		...

Base de datos: *Network Link States*

NETWORK LINK STATES (en r1 y r2)

LS age	100
LS Type	Network-LSA
Link State ID	15.2.0.2 (IP del DR en subred)
Adv Router	15.3.0.2 (Identificador del DR)
Ls Seq Number	1
Network Mask	/24
	Attached Router: 15.2.0.1
	Attached Router: 15.3.0.2

Definen la subred anunciada: 15.2.0.0/24



Caducidad de los mensajes LSU

- Cuando se crea un LSA, su campo LS Age se pone a 0. Este campo representa el número de segundos que ha pasado desde la creación del LSA.
- Cada vez que se reenvía un LSA entre *routers*, su LSA Age aumenta en 1.
- Cuando un LSA está almacenado en una BD, su LSA Age aumenta en 1 por cada segundo que pase.
- Un LSA caduca cuando su LS Age llega a 3600 (una hora), y en ese momento debe eliminarse la base de datos, recalculándose de nuevo Dijkstra.
- Los *routers* OSPF deben refrescar cada 1800 segundos (media hora) los LSA que han creado, reenviándolos en nuevos mensajes LS UPDATE.

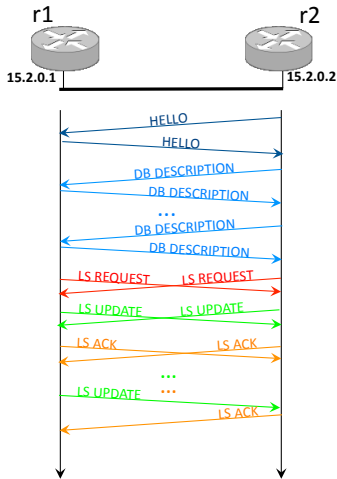
Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF**
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF

- Cuando dos *routers* OSPF vecinos se ven por primera vez a través de los mensajes HELLO, comienzan a intercambiarse el contenido de sus respectivas bases de datos.
- Este intercambio se realiza a través de mensajes DB Description enviados de forma unicast.
- Puede llegar a ser un proceso complejo y no entraremos en los detalles. De forma general:
 - Cada *router* especifica la lista de mensajes LSA que hay en sus bases de datos, indicando no el contenido sino sólo los 3 campos que identifican cada LSA.
 - Cada *router* compara la lista de identificadores de LSA que recibe con los que tiene almacenados en sus bases de datos y pide mediante mensajes LS REQUEST al otro *router* los LSA que le faltan.
 - Cada *router* envía los LSA pedidos mediante mensajes LS UPDATE.

Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF: ejemplo



- r1 lleva arrancado un tiempo.
- Al arrancar r2 envía un mensaje HELLO.
- Cuando r1 y r2 descubren que son vecinos, se intercambian la lista de LSAs que tienen en sus bases de datos a través de los mensajes DB DESCRIPTION (unicast).
- Cada uno le pide al otro los LSA que le faltan mediante mensajes LS REQUEST (unicast).
- Cada uno envía los LSAs pedidos en mensajes LS UPDATE (multicast).
- Los LSAs recibidos en LS UPDATE hay que asentirlos con mensajes LS ACK (multicast).

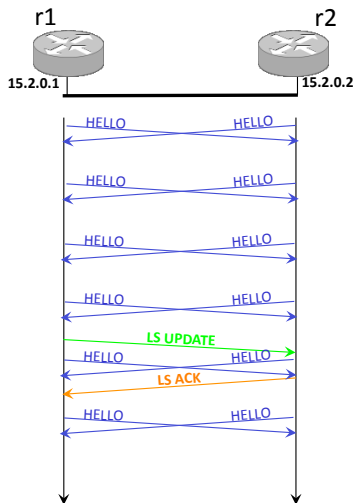
Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF**
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

Modificaciones en las bases de datos de OSPF

- Mientras no haya cambios en la topología, cada *router* OSPF sólo envía:
 - cada 10 segundos mensajes HELLO por todas sus interfaces OSPF
 - cada 1800 segundos mensajes LS UPDATE refrescando los LSA que ha creado
- Cuando se produce algún cambio en la topología de la red (se arranca/apaga un *router* OSPF, una interfaz queda inaccesible...), este cambio se propaga a través de mensajes LS UPDATE que incluyen los LSAs modificados.
- Cada vez que un *router* recibe nuevos LSAs debe recalcular el algoritmo de Dijkstra para actualizar su tabla de encaminamiento. Como es un proceso pesado, hay un tiempo mínimo que tiene que pasar entre aplicaciones sucesivas del algoritmo.

Modificaciones en las bases de datos de OSPF: ejemplo



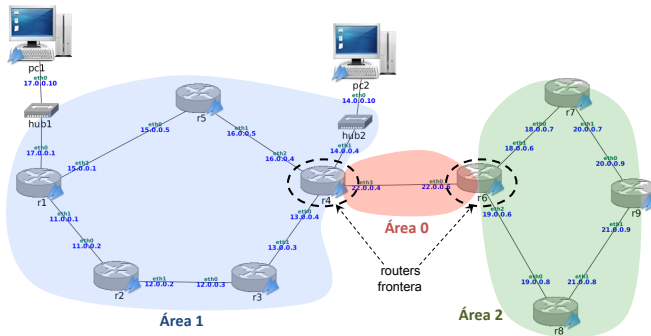
- r1 y r2 llevan arrancados un tiempo.
- Cuando r1 detecta un cambio en la topología, envía un LS UPDATE con los LSAs modificados.
- El *router* r2 asentirá los LSAs a través de un mensaje LS ACK.

Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF**
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

Áreas OSPF

- En OSPF los *routers* se pueden agrupar en áreas, donde un área queda definida por el conjunto de *routers* que comparten el mismo identificador de área.
- El área 0 corresponde al *backbone* al que se conectan todas las áreas.
- Los ABR (*Area Border Router*), *routers* frontera de un área, tendrán al menos una interfaz de red conectada al área 0 y otra interfaz conectada a otra área diferente.



Áreas OSPF

- Los LSA que describen la topología de un área (Router LSA, Network LSA) describen sólo las interfaces y redes de un área, y se transmiten en mensajes LS UPDATE únicamente dentro de ese área.
- Entre áreas diferentes la información se transmite con un **nuevo tipo de LSA: Summary LSA**. Estos LSA informan dentro de un área de las subredes que existen fuera de esa área (en otras áreas).
- Los Summary LSA son generados por los ABR.
- Los Summary LSA no contiene tanta información como los Router LSA y los Network-LSA, por lo que dentro de un área cada *router* podrá reconstruir la topología de esa área, pero no del resto de áreas. De las redes de fuera de su área solo tendrá una información “tipo protocolo de vector de distancias”: sabe que existe la red, su métrica, y que para llegar a ella debe ir a través del ABR que generó el Summary LSA.

Summary-LSA

LS age	número de segundos que han pasado desde que el LSA fue generado. Este valor aumenta: cada vez que un <i>router</i> reenvía (inundación) un anuncio generado por otro <i>router</i> (aumenta un segundo) y cuando se almacena en una base de datos de un <i>router</i> (aumenta según van pasando los segundos)
LS Type	summary-LSA
Link State ID	Dirección de la subred que se anuncia
Advertising router	ID del <i>router</i> que generó el anuncio
LS Seq Number	número de secuencia
Netmask	Máscara de la subred que se anuncia
Metric	Métrica para esa subred

Base de datos: Summary-LSA

- Cada *router* tiene una base de datos con la información de los mensajes Summary-LSA, donde se informa de las subredes que existen en el resto de las áreas.
- Las bases de datos de Summary-LSA son diferentes en *routers* que pertenecen a distinta área. Es la misma para los *routers* del mismo área.

Summary-LSA 1	LS age	número de segundos que han pasado desde que el LSA fue generado. Este valor aumenta: cada vez que un <i>router</i> reenvía (inundación) un anuncio generado por otro <i>router</i> (aumenta un segundo) y cuando se almacena en una base de datos de un <i>router</i> (aumenta según van pasando los segundos)
	LS Type	summary-LSA
	Link State ID	Dirección de la subred que se anuncia
	Advertising router	ID del <i>router</i> que generó el anuncio
	LS Seq Number	número de secuencia
	Netmask	Máscara de la subred que se anuncia
	Metric	Métrica para esa subred

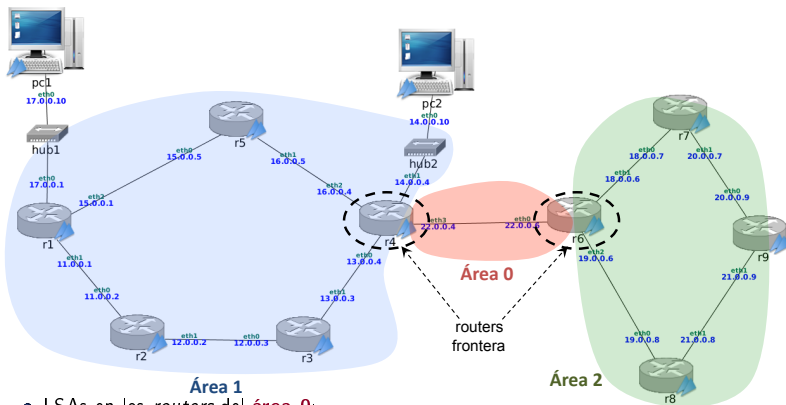
Summary-LSA 2	...
---------------	-----

...

...

Summary-LSA 3	...
---------------	-----

Ejemplos de LSAs cuando hay varias áreas (I)

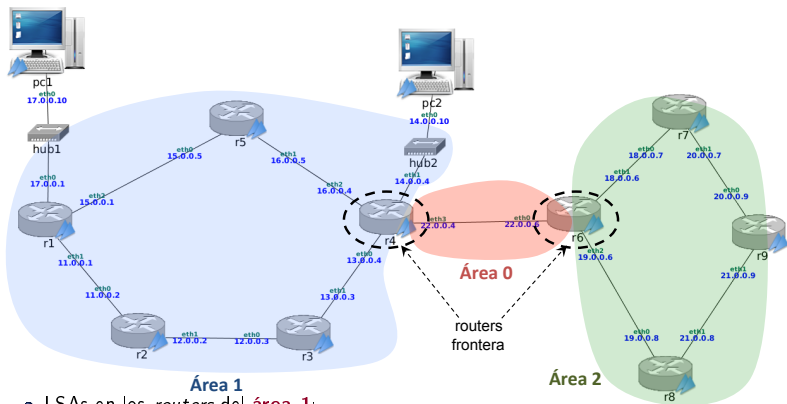


● LSAs en los routers del **área 0**:

- **Router LSA** de r4, con la interfaz r4-eth3
- **Router LSA** de r6, con la interfaz r6-eth0
- **Network LSA** de la red 22.0.0.0/24 (creado por r4, DR)
- **Summary LSA** de la red 11.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 12.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 13.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 14.0.0.0/24 (creado por r4)

- **Summary LSA** de la red 15.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 16.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 17.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 18.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 19.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 20.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 21.0.0.0/24 (creado por r6)

Ejemplos de LSAs cuando hay varias áreas (II)

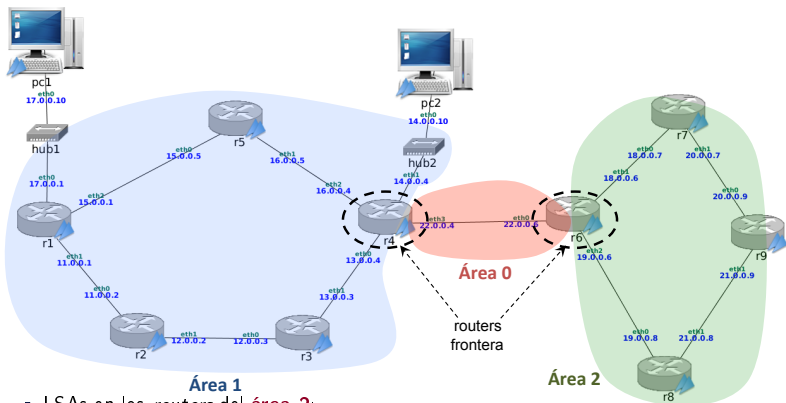


● LSAs en los routers del área 1:

- **Router LSA** de r1, con todas sus interfaces.
- **Router LSA** de r2, con todas sus interfaces.
- **Router LSA** de r3, con todas sus interfaces.
- **Router LSA** de r4, con r4-eth0, r4-eth1, r4-eth2.
- **Router LSA** de r5, con todas sus interfaces.
- **Network LSA** de la red 11.0.0.0/24 (creado por r1, DR)
- **Network LSA** de la red 12.0.0.0/24 (creado por r3, DR)
- **Network LSA** de la red 13.0.0.0/24 (creado por r4, DR)

- **Network LSA** de la red 15.0.0.0/24 (creado por r1, DR)
- **Network LSA** de la red 16.0.0.0/24 (creado por r4, DR)
- **Summary LSA** de la red 18.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 19.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 20.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 21.0.0.0/24 (creado por r4)
- **Summary LSA** de la red 22.0.0.0/24 (creado por r4)

Ejemplos de LSAs cuando hay varias áreas (III)



● LSAs en los routers del área 2:

- **Router LSA** de r6, con r6-eth1, r6-eth2
- **Router LSA** de r7, con todas sus interfaces
- **Router LSA** de r8, con todas sus interfaces
- **Router LSA** de r9, con todas sus interfaces
- **Network LSA** de la red 18.0.0.0/24 (creado por r6, DR)
- **Network LSA** de la red 19.0.0.0/24 (creado por r6, DR)
- **Network LSA** de la red 20.0.0.0/24 (creado por r9, DR)
- **Network LSA** de la red 21.0.0.0/24 (creado por r9, DR)
- **Summary LSA** de la red 11.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 12.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 13.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 14.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 15.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 16.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 17.0.0.0/24 (creado por r6)
- **Summary LSA** de la red 22.0.0.0/24 (creado por r6)

Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF**
- 9 Referencias

Resumen de mensajes OSPF

- **HELLO**: Descubrimiento de vecinos, elección DR/BDR.
- **DB DESCRIPTION**: Intercambio inicial de información relacionada con las *link-state databases*.
 - Cada *router* envía a un vecino (unicast) cuáles son los LSAs almacenados en sus DBs, especificando el tipo de LSA, el identificador del *router* que envió el LSA y el número de secuencia del LSA pero no el contenido del LSA.
- **LS REQUEST**: Petición a un vecino (unicast) de los LSAs que un *router* no tiene en sus DBs.
- **LS UPDATE**: mensaje que contiene uno o varios LSAs: Router-LSA, Network-LSA y Summary-LSA (hay otros).
- **LS ACK**: Los LSA contenidos en un LSU se asientan con un mensaje LS ACK.

Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Mensajes HELLO
- 4 Mensajes LS UPDATE
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias**

Referencias

- Charles M. Kozierok, **TCP/IP GUIDE. A Comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference**, No Starch Press, 2005: capítulo 39
(http://www.tcpiptide.com/free/t_OpenShortestPathFirstOSPF.htm)
- John T. Moy, **OSPF: Anatomy of an Internet Routing Protocol**, Addison-Wesley (Safari Books Online), 1998: capítulo 4.
- RFC 2328, **OSPF version 2**:
<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2328.html>