

# Encaminamiento en Internet

## 3. OSPF

### Redes-I

Departamento de Sistemas Telemáticos y Computación (GSyC)

Octubre de 2010



# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 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

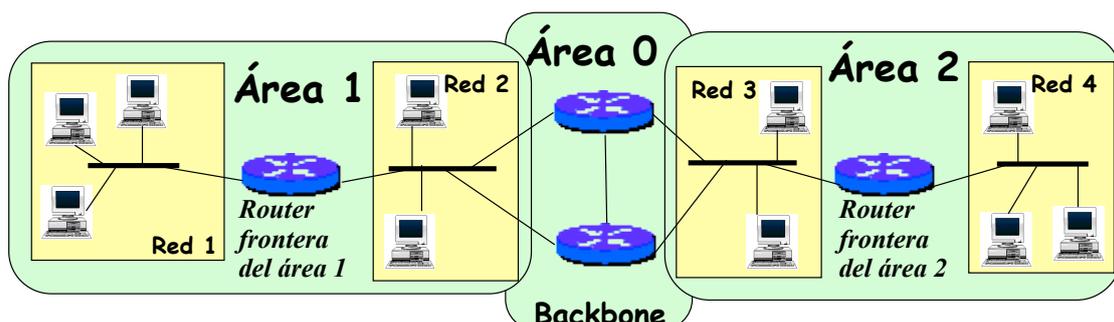
- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

# OSPF (*Open Shortest Path First*)

- Más moderno y más complejo que RIP.
- Protocolo de la familia **Estado del Enlace**.
- Versión actual: versión 2 (RFC-2328, Abril 1998)
- Se considera mejor que RIP y es el protocolo interior recomendado en Internet.
- Los mensajes OSPF se encapsulan en datagramas IP, como protocolo de transporte número 89 (TCP=6, UDP=17)
  - no usa UDP como en el caso de RIP.

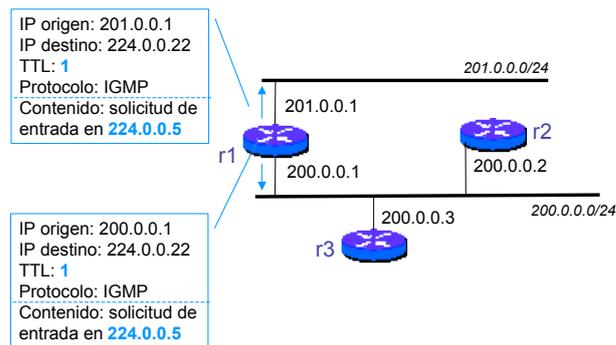
## Jerarquía en OSPF

- Es un protocolo interior, aunque puede usarse en redes grandes.
- Encaminamiento jerárquico por áreas dentro de un sistema autónomo (AS):
  - **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**: Interconecta todas las áreas dentro de un sistema autónomo, se configura como área 0.



# OSPF utiliza IP multicast

- 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
  - Este mensaje irá dirigido al grupo 224.0.0.22, al que pertenecen todos los *routers* IGMP.
  - Este mensaje lleva TTL=1 ya que sólo sirve para informar de dicha solicitud a los *routers* IGMP locales que están conectados a la/s misma/s subred/es que r1.
- A partir de ese momento, cualquier mensaje OSPF de los *routers* directamente conectados a r1 que vaya dirigido a la dirección 224.0.0.5, será recibido por r1.
- El *router* r1 utilizará la dirección destino 224.0.0.5 y TTL=1 para comunicarse con sus *routers* vecinos y enviarles la información de encaminamiento del protocolo OSPF.



## Contenidos

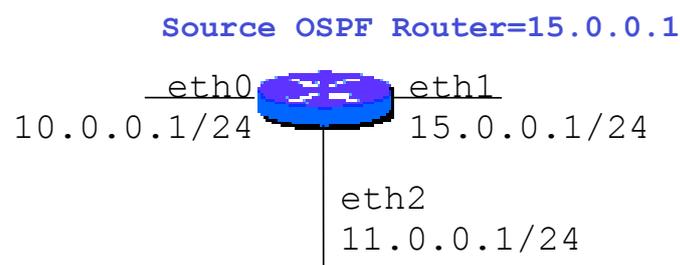
- 1 Introducción
- 2 **Funcionamiento general de OSPF**
- 3 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 5 Intercambio inicial de las bases de datos de OSPF
- 6 Modificaciones en las bases de datos de OSPF
- 7 Mensajes entre diferentes áreas OSPF
- 8 Resumen de mensajes OSPF
- 9 Referencias

## Funcionamiento general de OSPF

- Protocolo HELLO: Descubrimiento de vecinos (otros *routers* OSPF conectados a su misma subred).
- Intercambio de la base de datos topológica de OSPF: DB Link-state. Cada *router* mantiene una base de datos (DB Link-state) con la **topología completa de la red en cada router**. Estudiaremos dos tipos de tablas de esta base de datos que se encuentran en todos los *routers* OSPF:
  - *Router Link State*: Información de cada una de las interfaces de todos los *routers* OSPF.
  - *Network Link State*: Información de las subredes a las que están conectados todos los *routers* OSPF.
- El **Algoritmo de Dijkstra** se computa localmente en cada *router* para rellenar la tabla de encaminamiento partiendo de la base de datos de la topología de la red.
- Si se producen cambios en la topología, se envían mensajes del estado del enlace (con información sobre los vecinos) mediante inundación.

## Identificador de un *router* OSPF

- Un *router* OSPF tiene asignado un identificador. Si no se configura explícitamente, se elige como identificador la dirección IP más alta de las que tenga configuradas en sus interfaces donde tenga activado OSPF.
- Los *routers* OSPF se identifican de forma exclusiva a través de su identificador.
- Cuando un *router* envía (o reenvía) un mensaje OSPF, escribe su identificador en el campo **Source OSPF Router** de la cabecera obligatoria de los mensajes OSPF.



# Formato de mensaje OSPF

HELLO  
DB Descr  
LS Request  
LS Update  
LS ACK

Versión	Tipo de mensaje	Longitud del paquete
<b>Source OSPF Router: ID del Router que emite el mensaje</b>		
Identificador de área		
Checksum	Tipo de autenticación	
Autenticación		
Autenticación		
Datos específicos de cada tipo de mensaje		

## Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Protocolo HELLO**
- 4 Mensajes LSU
- 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

- Descubre a sus vecinos (otros *routers* OSPF conectados a su misma subred) utilizando un **protocolo HELLO**.
  - Los mensajes HELLO sirven para:
    - Descubrir los *routers* vecinos.
    - Comprobar permanentemente accesibilidad con los vecinos.
  - Los mensajes HELLO se envían por todas las interfaces que tienen activado el protocolo OSPF de un *router*.
  - Los mensajes HELLO se envían cada 10 segundos a través de una dirección de multicast (All-OSPF routers 224.0.0.5) y TTL=1.
    - Se supone que un vecino está desconectado si no se recibe de él información de HELLO en 4 períodos (40 segundos).
  - Los mensajes HELLO no se propagan por inundación, sólo tienen sentido en la subred en la que se generan.

## Protocolo HELLO: Designated Router (DR)

- El **Router Designado (DR, Designated Router) de una subred** es el *router* representante de esa subred y se encarga de exportar la información de esa subred al resto de *routers*:
  - Evita que todos los *routers* conectados a la misma subred generen un mensaje con la información de los datos de esa subred y lo envíen al resto de los *routers* OSPF: se ahorran mensajes.
  - El propósito del DR es permitir que la LAN sea tratada como un único nodo, a través de su nodo representante o DR.
- Los mensajes HELLO de una subred se utilizan para elegir a uno de los *routers* como DR de esa subred.
  - Los mensajes HELLO llevan un campo DR que almacenará la **dirección IP** (no el identificador) del *router* DR para esa subred.

## Protocolo HELLO: DR y BDR

- Adicionalmente al DR se elige el BDR que es un DR de backup (siguiente *router* que cumple los criterios de elección de DR) también a través de los mensajes HELLO.
- Una vez elegido BDR, la dirección IP del BDR de esa subred se enviará en el campo BDR de los mensajes de HELLO. Si el DR deja de funcionar, el BDR se convierte en el nuevo DR.
- Una vez elegidos DR y BDR en una subred si se conecta un *router* a esa subred, no se modifican los valores de DR y BDR (evita oscilaciones).
- 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 el BDR.

## Protocolo HELLO: Elección de DR y BDR

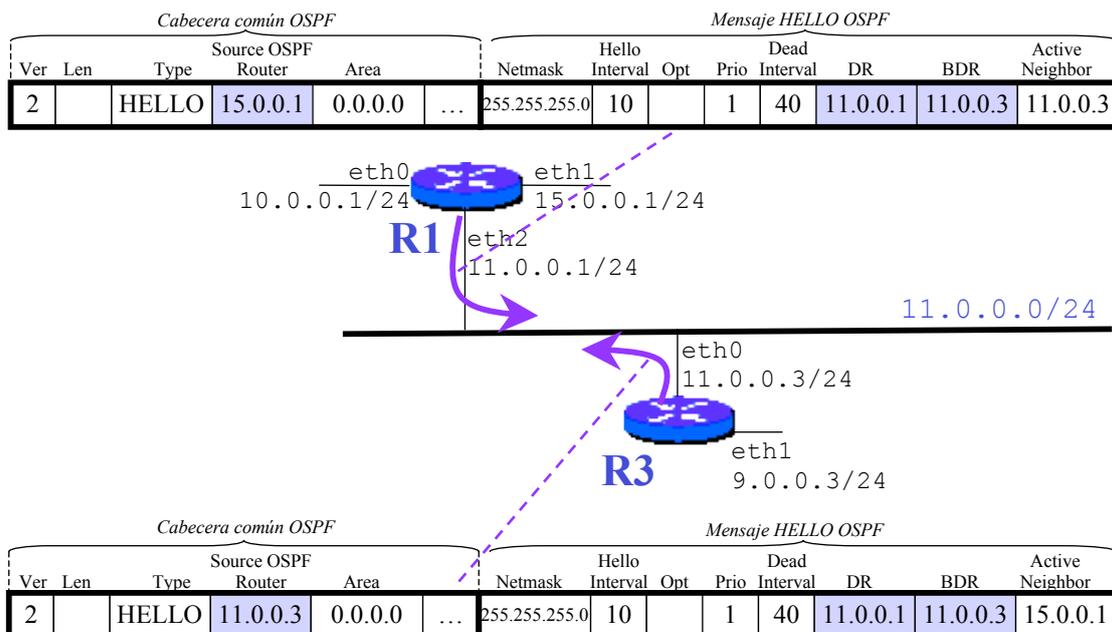
- Si en la red ya hay un DR elegido, al arrancar un *router* recibirá mensajes HELLO con la dirección IP del DR y aprenderá la dirección IP del DR.
- Si en la red no hay un DR elegido, al arrancar un *router* enviará mensajes HELLO con el campo DR vacío (0.0.0.0) y transcurridos 40 segundos elegirá el DR teniendo en cuenta los siguientes criterios:
  - Cada *router* elige como DR el *router* que envíe mayor número en el campo *Router Priority* de los mensajes HELLO.
  - En caso de empate en ese campo, cada *router* elige como DR el que tenga mayor **identificador**.
- Una vez elegido el DR, los *routers* enviarán en sus mensajes HELLO la **dirección IP** del *router* DR para esa subred.
- De forma análoga se elige el BDR.
- Téngase en cuenta que una vez elegidos DR y BDR, estos no cambian aunque se conecten a esa misma subred otros *routers* con mayor prioridad o mayor identificador.

# Formato de mensaje HELLO

OSPF Header Tipo mensaje=HELLO		
Netmask		
Hello Interval	Opt	Prio
Dead Interval		
DR		
BDR		
Active Neighbor 1		
...		
Active Neighbor n		

- **Netmask**: Máscara de la subred donde se envía el mensaje.
- **Hello Interval**: intervalo en segundos entre mensajes HELLO consecutivos.
- **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.
- **DR**: Designated Router
- **BDR**: Backup Designated Router.
- **Active Neighbors i**: Identificadores de los *routers* OSPF vecinos de éste de los que tiene conocimiento (han enviado un HELLO).

# Protocolo HELLO: Elección de DR y BDR



- DR de la subred 11.0.0.0/24 → 11.0.0.1
- BDR de la subred 11.0.0.0/24 → 11.0.0.3

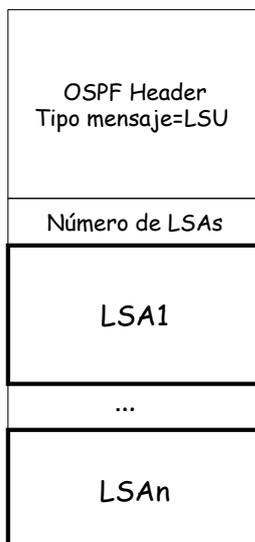
**DR y BDR son direcciones IP de la subred a la que representan.**

# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 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 LSU (*Link State Update*)

- Los mensajes de estado del enlace se denominan LSU (*Link State Update*).
- Los mensajes LSU contienen 1 ó más anuncios denominados LSA (*Link State Advertisements*).



Estudiaremos 2 tipos de LSA:

- **LSU-Router LSA** (*Router Link State Advertisement*): Todos los *routers* OSPF generan un mensaje de este tipo para informar de las interfaces que tienen configuradas. El *router* que ha generado este mensaje:
    - 1 Lo almacena en su base de datos Router Link States Database
    - 2 Lo envía SÓLO por las interfaces donde sabe que hay otros *routers* OSPF vecinos.
  - **LSU-Network LSA** (*Network Link State Advertisement*): SÓLO el *router* DR de una subred genera un mensaje de este tipo para informar de los *routers* que se encuentran conectados a dicha subred, si es que hay alguno. El *router* DR de esa subred:
    - 1 Lo almacena en su base de datos Network Link States Database
    - 2 Lo envía SÓLO por las interfaces donde sabe que hay otros *routers* OSPF vecinos.
- El *router* que genera un mensaje LSA le asigna un número de secuencia que viajará en el propio LSA.
  - Cuando un *router* recibe un LSA **nuevo** de otro *router*, lo almacena en su base de datos y lo reenvía por las interfaces con *routers* OSPF vecinos (excepto por la que lo recibió).

## Inundación de LSUs

- Todos los mensajes OSPF llevan TTL=1. Por tanto, para que la inundación se realice, cuando un *router* recibe un LSU:
  - si ya lo tenía en su base de datos (recibe un mensaje del mismo *router* origen, del mismo tipo y con un número de secuencia **menor o igual** al que ya tenía en su base de datos), lo descartará y no lo reenviará.
  - si no lo tenía en su base de datos o tenía un mensaje más antiguo que el que ha recibido (recibe un mensaje con número de secuencia **mayor**), lo almacenará sustituyendo el mensaje antiguo por el nuevo y lo reenviará **SÓLO** por las interfaces donde hay otros *routers* OSPF vecinos salvo por la interfaz por donde lo había recibido.
- Es un sistema de **inundación fiable**:
  - Cada LSA contenido en un LSU debe ser asentido con un mensaje LS ACK, enviado a la dirección 224.0.0.5. Un LS ACK puede asentir varios LSA.
  - Si no se recibe el LS ACK para un LSA en 5 segundos, se reenviará dicho LSA en un nuevo LSU (los reenvíos se realizan de forma unicast, a la máquina que no ha asentido el LSA previo).

## Bases de datos de OSPF

- Estudiaremos dos bases de datos de OSPF que hay almacenadas en cada *router* OSPF:

- **Router Link States**:

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	Último Router-LSA de Router 1
	Último Router-LSA de Router 2
	...
	Último Router-LSA de Router n

- **Network Link States**:

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	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

# Mensaje LSU *Router LSA*

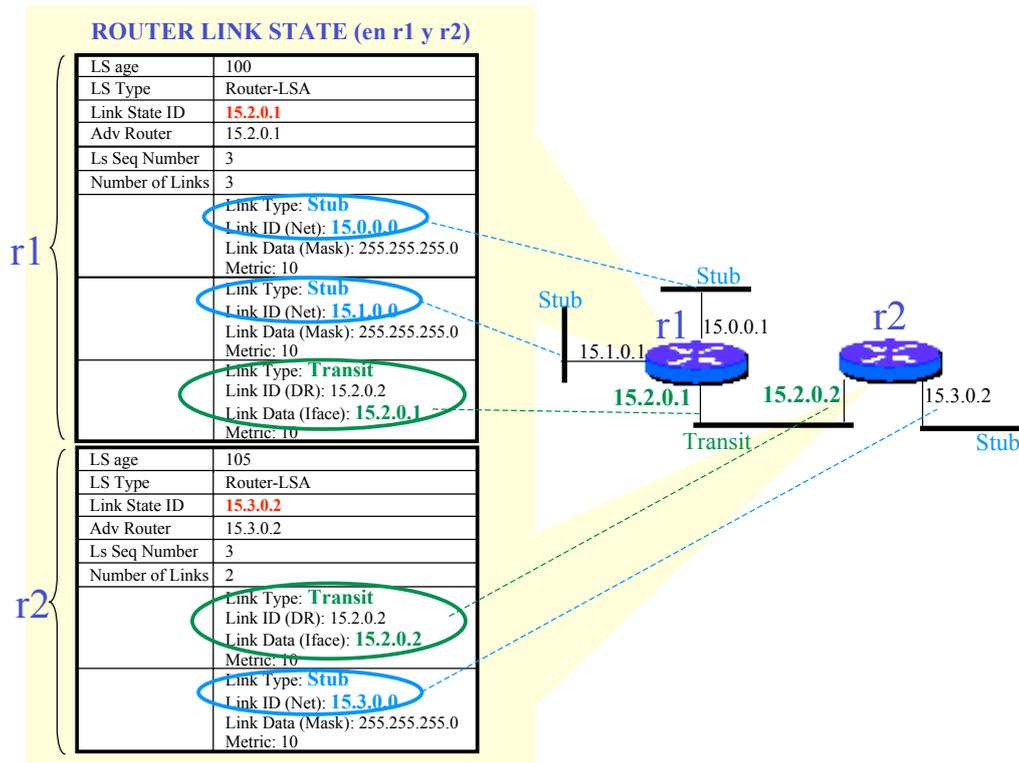
- Información importante de un mensaje **LSU Router LSA**:

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	<b>router-LSA</b>	
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	Dos tipos: <b>Stub: No hay otros <i>routers</i> OSPF en esa interfaz</b> <b>Transit: Hay otros <i>routers</i> OSPF en a esa interfaz</b>
	Link ID	<b>En Stub: Red a la que está conectado el <i>router</i>.</b> <b>En Transit: DR de esa subred (su IP)</b>
	Link Data	<b>En Stub: Máscara</b> <b>En Transit: IP de este <i>router</i> en esa subred</b>
	Metric	Coste (10 por defecto)
	Link Type	...
	...	...
	Link Type	...
	...	...

# Base de datos: *Router Link States*

- Cada *router* tiene una base de datos con las interfaces de todos los *routers* OSPF.
- Existirá una entrada por cada *router*.

Entrada 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	<b>router-LSA</b>	
	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	Dos tipos: <b>Stub: No hay otros <i>routers</i> OSPF en esa interfaz</b> <b>Transit: Hay otros <i>routers</i> OSPF en a esa interfaz</b>
		Link ID	<b>En Stub: Red a la que está conectado el <i>router</i>.</b> <b>En Transit: DR de esa subred (su IP)</b>
		Link Data	<b>En Stub: Máscara</b> <b>En Transit: IP de este <i>router</i> en esa subred</b>
Metric		Coste (10 por defecto)	
Link Type		...	
...		...	
Link Type		...	
...		...	
Entrada Router 2	...		
...	...		
Entrada Router n	...		

Base de datos: *Router Link States*Mensaje LSU *Network LSA*

- Información importante de un mensaje **LSU Network LSA**:

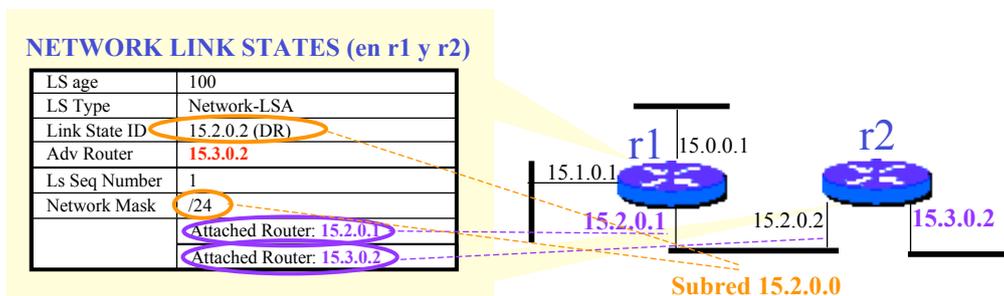
LS age	número de segundos que han pasado desde que el LSA fue generado. Este valor aumenta: cada vez que un <i>router</i> reenvía (inundación) un anuncio generado por otro <i>router</i> (aumenta un segundo) y cuando se almacena en una base de datos de un <i>router</i> (aumenta según van pasando los segundos)
LS Type	<b>network-LSA</b>
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 las subredes en las que hay más de un *router* OSPF, indicando qué *routers* se encuentran conectados en cada una de esas subredes.
- Existirá una entrada por cada *subred*.

Entrada Subred 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	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: ...	
Entrada Subred 2		...
...		...
Entrada Subred n		...

## Base de datos: *Network Link States*



## Caducidad de los mensajes LSU

- Un mensaje LSU caduca cuando su LS Age llega a una hora (3600 segundos) y habrá que eliminarlo de la base de datos, recalculando de nuevo Dijkstra.
- Los *routers* OSPF deben refrescar cada media hora los mensajes LSU que ellos han generado.

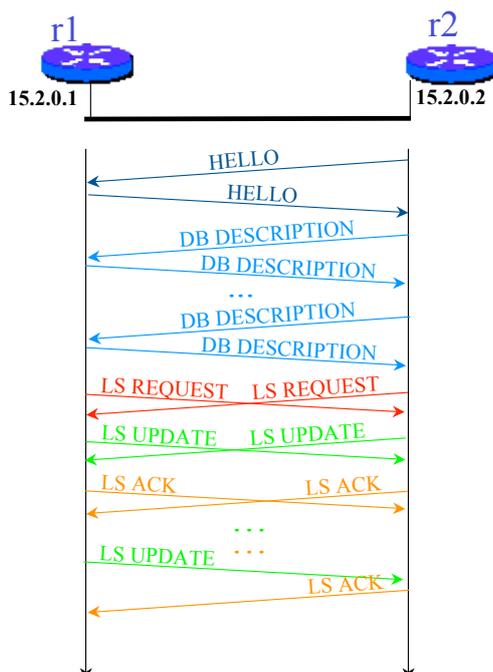
## Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 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 respectivas bases de datos, no el contenido, sólo la lista.
  - Cada *router* compara la lista que recibe con los que tiene almacenados en su propia base de datos y solicita los que le faltan.
  - El *router* vecino responderá con los LSA completos que le solicitan.

## 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 aserlos con mensajes LS ACK (multicast).

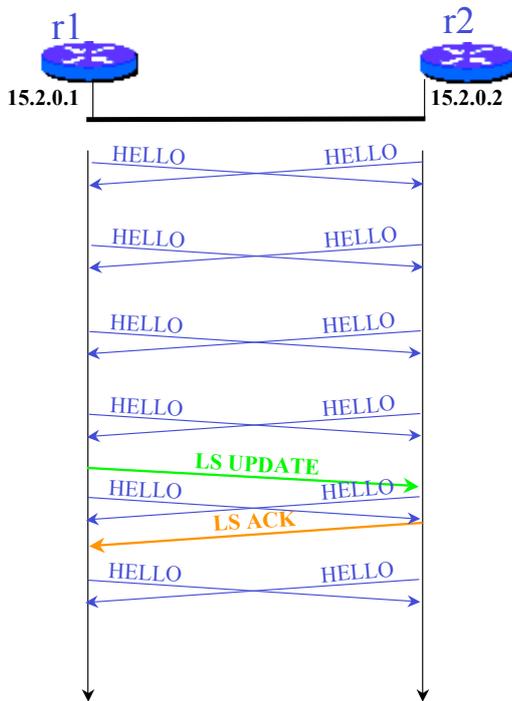
# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 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, los *routers* OSPF sólo envían mensajes HELLO cada 10 segundos por todas sus interfaces OSPF.
- Cuando se produce algún cambio en la topología de la red (se arranca/apaga un *router* OSPF, una interfaz queda inaccesible, etc...), este cambio se propaga a través de mensajes LS UPDATE que incluyen los LSAs modificados.

# 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 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 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 *routers* frontera de un área tendrán al menos una interfaz de red conectada al área 0 y otra interfaz conectada a otra área diferente.
- Los mensajes internos de un área que describen la topología de ese área son los descritos hasta ahora: HELLO, LSU Router-LSA, LSU Network-LSA.
- Entre áreas diferentes se intercambian mensajes OSPF resumen: LSU Summary-LSA. Estos mensajes informan de las subredes que existen en el otro área, pero no llevan tanta información como los Router-LSA y Network-LSA. Los mensajes LSU Summary-LSA no permiten reconstruir la topología completa del otro área.

## Mensaje LSU 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	<a href="#">Summary-LSA</a>
Link State ID	Dirección de subred
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

# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento general de OSPF
- 3 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 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 Protocolo HELLO
- 4 Mensajes LSU
- 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.tcpipguide.com/free/t\\_OpenShortestPathFirstOSPF.htm](http://www.tcpipguide.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>