

Tema 4

Redes Inalámbricas Ad-Hoc

Tipos de redes inalámbricas

- Al más alto nivel, podemos clasificar las redes inalámbricas de acuerdo a dos criterios:
 - i. Si un paquete cruza la red inalámbrica exactamente en *un salto* (inalámbrico) o en *múltiples saltos* (inalámbricos)
 - ii. Si hay una *infraestructura*, como una estación base, en la red
- Tenemos 4 tipos de redes:
 - Con infraestructura + Single-hop
 - Sin infraestructura + single-hop
 - Con infraestructura + multiple hop
 - Sin infraestructura + multiple-hop

Tipos de redes inalámbricas

- **Con infraestructura + single-hop**
 - Estas redes tiene una estación base que se conecta a una red mayor cableada (Internet)
 - Toda la comunicación ocurre entre el AP y el dispositivo inalámbrico en un solo salto
- **Sin infraestructura + single-hop**
 - No hay estación base
 - Uno de los nodos coordina la transmisión con el resto de los nodos
- **Con infraestructura + multiple hop**
 - Hay una estación base conectada a una red cableada mayor (Internet)
 - Algunos nodos se apoyan en otros para comunicarse a través de la estación base
- **Sin infraestructura + multiple-hop**
 - No hay estación base, y los nodos tienen que retransmitir mensajes a otros nodos para alcanzar el destino
 - Los nodos pueden ser móviles, lo que hacer variar la conectividad entre nodos.

Tipos de redes inalámbricas

	Single hop	Multiple hops
Infraestructura	WIFI, WIMAX, 3G	ZIGBEE red <i>MESH</i> (de malla) de sensores
Sin Infraestructura	Bluetooth WIFI ad hoc	Redes <i>MANET</i> y <i>VANET</i>

Redes Inalámbricas Ad-Hoc

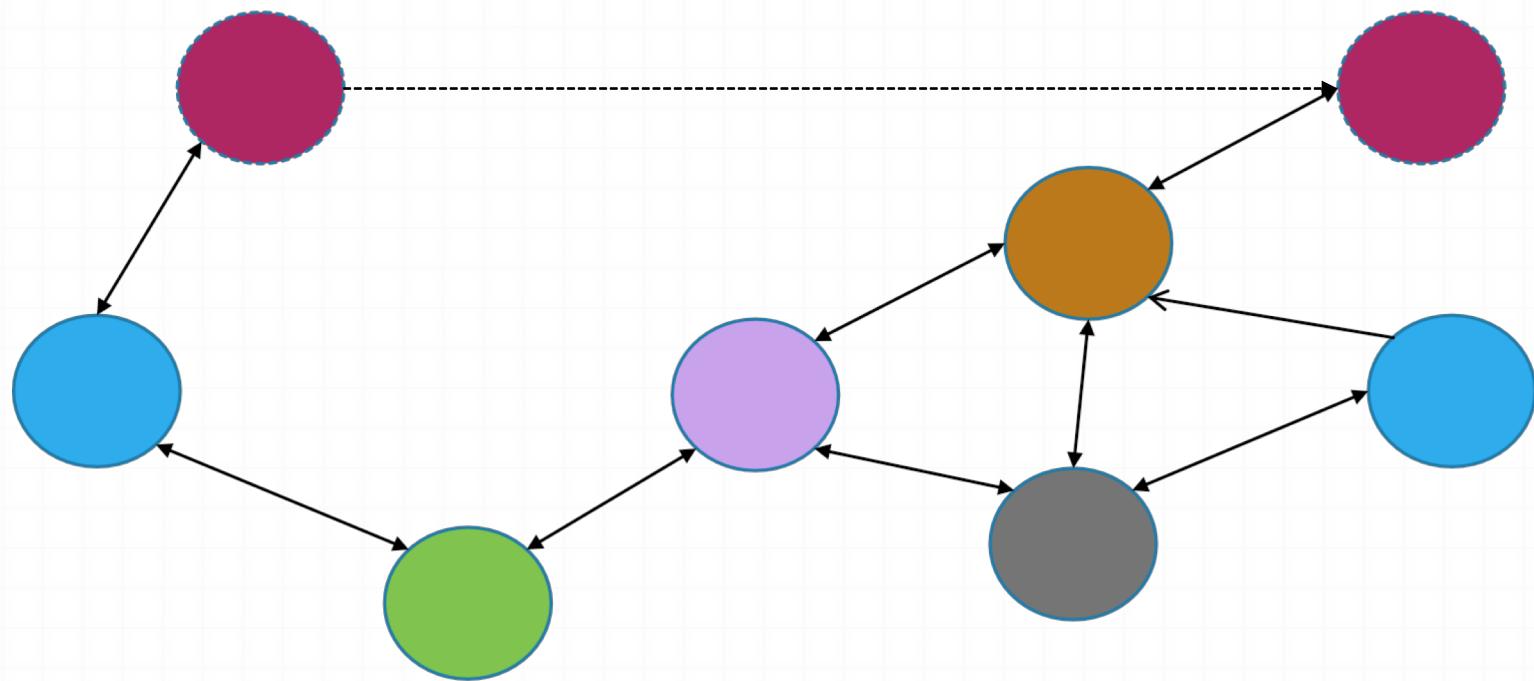
- Las primeras experiencias en este campo se deben a la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) que desarrolló durante la década de los 70 la llamada Red Radio de Paquetes (PRN – Packet Radio Network) para comunicaciones entre vehículos en movimiento.
- Este concepto de redes carentes de infraestructura cableada para la comunicación derivó en las conocidas como Redes Ad Hoc Inalámbricas, también conocidas como redes MANET (Mobile Ad Hoc Networks) o VANET (Vehicular Ad-Hoc Networks).
- Iniciativas:
 - IEEE 802.11s, que incluye la definición de las llamadas redes malladas (mesh), caracterizadas por permitir la comunicación a través de topologías multisalto autoconfigurables.
 - 802.15.5 Mesh Networking

Redes Inalámbricas

Ad-Hoc

- Los nodos inalámbricos se comunican unos con otros sin necesidad de una infraestructura y sin un control central
- Cada nodo está preparado para reenviar datos a los demás (función que realizan los routers)
- Las redes ad hoc pueden ser conectadas a otras red o a Internet
- La mayoría de las redes Ad-Hoc usan las frecuencias de la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical Band)

Redes Inalámbricas Ad-Hoc



Redes Inalámbricas Ad-Hoc

- **Usos**

- Grupo de personas con portátiles que quieren intercambiar ficheros y datos sin hacer uso de un punto de acceso
- En situaciones en las que se necesite intercambiar información y las infraestructuras de red hayan sido destruidas
- Adecuada para comunicaciones militares en ausencia de infraestructuras de comunicación

Redes Inalámbricas Ad-Hoc

- **Ventajas**

- Por su naturaleza descentralizada, son adecuadas para evitar el cuello de botella, mejorar la escalabilidad frente a soluciones tradicionales.
- Las redes ad hoc son también útiles en situaciones de emergencia
 - Requieren poca configuración y permiten un rápido despliegue
 - El protocolo de encaminamiento dinámico permite que entren en funcionamiento en un tiempo muy reducido.
 - Son consideradas redes robustas por sus mecanismos de control y gestión descentralizados y distribuidos.

Redes Inalámbricas Ad-Hoc

• Limitaciones

- Uso canal radio-> optimización del ancho de banda, acceso múltiple, control de potencia, capacidad de canal, seguridad
- Topología de red dinámica-> nuevas técnicas para el mantenimiento y configuración de la misma.
- Ausencia de infraestructura->nuevas técnicas de direccionamiento de los nodos y de transporte de los datos a través de Internet

Estas limitaciones impactan sobre todo en el encaminamiento

Encaminamiento en redes Ad Hoc Inalámbricas

- Debe cumplir ciertos objetivos
 - **Minimización de costes (energéticos y de ancho de banda)**
 - Deben reducirse tanto la cantidad de mensajes de control intercambiados como la carga computacional de operaciones
 - **Capacidad multisalto**
 - debe asegurarse el reenvío de paquetes a través de los nodos de la red dado que habitualmente el destino no se encuentra dentro del alcance de la fuente.
 - **Mantenimiento dinámico de topología:**
 - debido a las características cambiantes de la red, las rutas establecidas deberían ser actualizadas.
 - **Eliminación de bucles:**
 - la posibilidad de que un nodo sea visitado más de una vez por un paquete en su trayecto hacia el destino implica un coste inaceptable de ancho de banda y recursos de procesamiento y transmisión

Encaminamiento en redes Ad Hoc inalámbricas

- Una primera solución se basa en utilizar flooding controlado
 - Muchos protocolos utilizan el flooding de los paquetes de control, utilizados para descubrir la ruta
 - Una vez establecidas las ruta se envían los paquetes de datos
 - En un mecanismo sencillo pero introduce mucha sobrecarga en la red

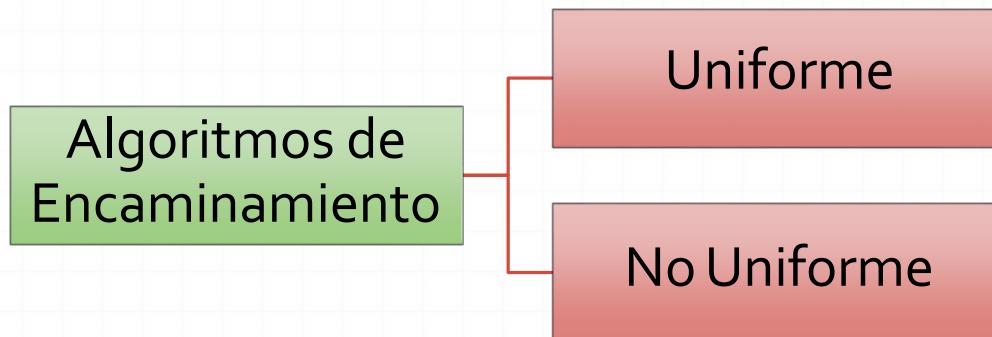
Encaminamiento en redes Ad Hoc Inalámbricas

• Modos de operación:

Distribuido	Bajo demanda (reactivos):	Activo (Proactivo):	De período de sueño:
<ul style="list-style-type: none">• Fundamental dada la estructura de la red	<ul style="list-style-type: none">• Buscan una ruta solo cuando se necesita• Facilita la adaptación del encaminamiento a los patrones de tráfico particulares de cada situación y hace posible reducir el gasto de ancho de banda y energía, aunque se amplía el tiempo de obtención de la ruta.	<ul style="list-style-type: none">• Buscan rutas periódicamente, suponiendo que serán útiles.• Cubre aplicaciones que necesitan de un envío sistemático de datos, como monitorización ambiental, por ejemplo.	<ul style="list-style-type: none">• Para preservar su energía, los nodos pueden pasar a un estado de sueño en el que sus funcionalidades de emisión y recepción se encuentran parcialmente inactivas hasta cierto grado

Encaminamiento en redes Ad Hoc Inalámbricas: clasificación

- Hay diversas clasificaciones de los protocolos de encaminamiento para redes ad hoc inalámbricas.
- El primer nivel de clasificación se basa en la estructura de los protocolos en cuanto a la homogeneidad o heterogeneidad de las funciones de los nodos en el encaminamiento.
 - Uniforme: o de estructura plana.
 - No uniforme: propio de estructuras jerárquicas



Encaminamiento en redes Ad Hoc Inalámbricas

Uniforme: o de estructura plana.

- Todos los nodos de la red desempeñan las mismas funciones y poseen las mismas características.
- En este caso, no se incurre en ningún coste de mantenimiento de la estructura de la red
- sin embargo, se adaptan en muy poca medida a ampliaciones conservando sus mismas prestaciones.

No uniforme: propio de estructuras jerárquicas

- algunos nodos desarrollan papeles especiales e incluso pueden dotarse de capacidades particulares en términos de cómputo, energía o almacenamiento entre otros.
- Esto les permite soportar algoritmos más complejos, reducir la sobrecarga debida a la comunicación y ofrecer la posibilidad de balanceo de carga mientras mantienen sus características incluso ante incrementos del número de nodos en la red;
- por el contrario, generan cierto coste de mantenimiento de la estructura y necesitan en muchos casos la disponibilidad de nodos heterogéneos.

Encaminamiento en redes Ad Hoc Inalámbricas

- En un segundo nivel, para cada una de las categorías anteriores, los algoritmos se clasifican por el **procedimiento** adoptado para el descubrimiento del camino a establecer y su mantenimiento
 - (Pro)Activo
 - Basado en tablas
 - Reactivo
 - Bajo demanda
 - Híbrido
 - En protocolos no uniformes, incluye los dos procedimientos anteriores en distintos niveles del encaminamiento



Encaminamiento en redes Ad Hoc Inalámbricas

- Activo (o Proactivo): su funcionamiento se basa en tablas, creadas a partir de una fase original de descubrimiento de ruta, que albergan la información referente a los caminos en la red con base en distintos criterios.
 - Esta información es de ámbito global y por tanto, todos los nodos conservan caminos posibles hacia el resto.
 - Para la diseminación de la misma, los nodos intercambian estos datos bien periódicamente o bien ante la aparición de un cambio en ella.
 - Los protocolos activos logran que el envío de datos se produzca con un retardo despreciable debido a que la información sobre la ruta a seguir está disponible previamente;
 - No obstante, consumen recursos de la red -energía, cómputo, almacenamiento, etc.- independientemente del grado de utilización de la ruta.

Encaminamiento en redes Ad Hoc Inalámbricas

- Reactivo
 - Las rutas se construyen bajo demanda en el momento en el que el nodo necesita establecer una comunicación.
 - Disminuye el coste de mantenimiento de rutas
 - Aumenta la latencia
- Híbrido
 - Reduce las sobrecarga de mensajes de control generada por los protocolos activos a la vez que disminuye la latencia de las operaciones de búsqueda de los protocolos reactivos.

Algoritmos de encaminamiento Ad Hoc Uniformes

DSVD

WRP

FSR

TBRPF

OLSR

CGSR

(Pro)Activos - Dirigidos por tablas

AODV

DSR

TORA

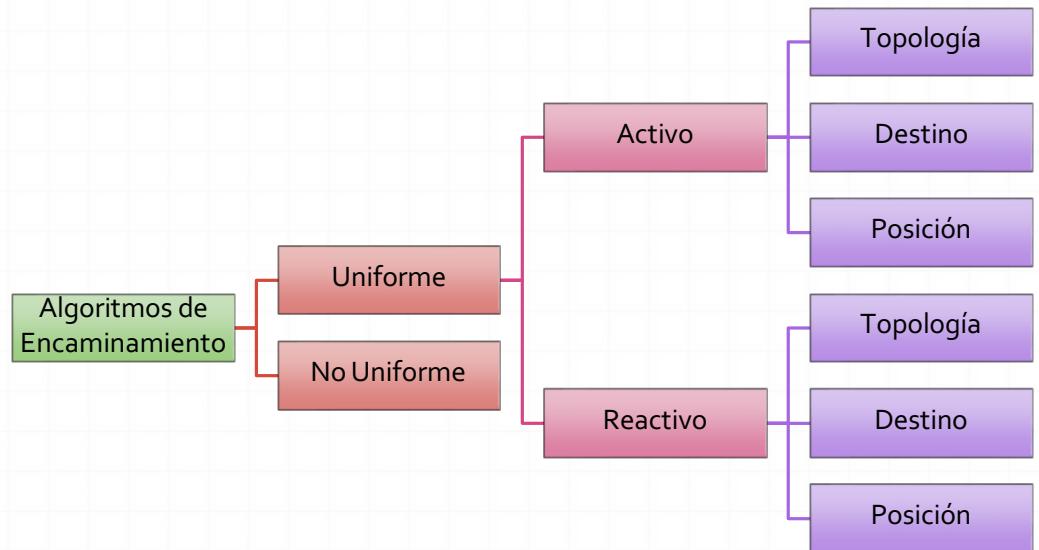
ABR

SSR

Reactivos - Iniciado por la fuente (bajo demanda)

Encaminamiento en redes adhoc inalámbricas

- En un tercer nivel, los **protocolos uniformes** se clasifican por el tipo de información del estado de la red que manejan los nodos para proceder al encaminamiento.
- Según este criterio, un protocolo uniforme se basa en:
 - Topología
 - Destino
 - Posición



Encaminamiento en redes ad hoc inalámbricas

- **Topología:**

- Los nodos mantienen información referida al conjunto global de la red.
- Un grupo importante de estos protocolos son los basados en el estado del enlace, en los que la información sobre las conexiones establecidas por cada nodo con sus vecinos es diseminada a lo largo de la red de tal forma que cualquier nodo conozca el esquema de enlaces de la misma.
- Esta aproximación no se adapta de forma óptima al carácter dinámico de este tipo de redes
- Sin embargo, una información de tal calibre incide muy positivamente en la selección de la mejor ruta, el balanceo de carga o la gestión de la calidad del servicio.
- Algoritmos de este tipo
 - FSR (*Fisheye State Routing*).
 - FSLS (*Fuzzy Sighted Link State*)

Encaminamiento en redes ad hoc inalámbricas

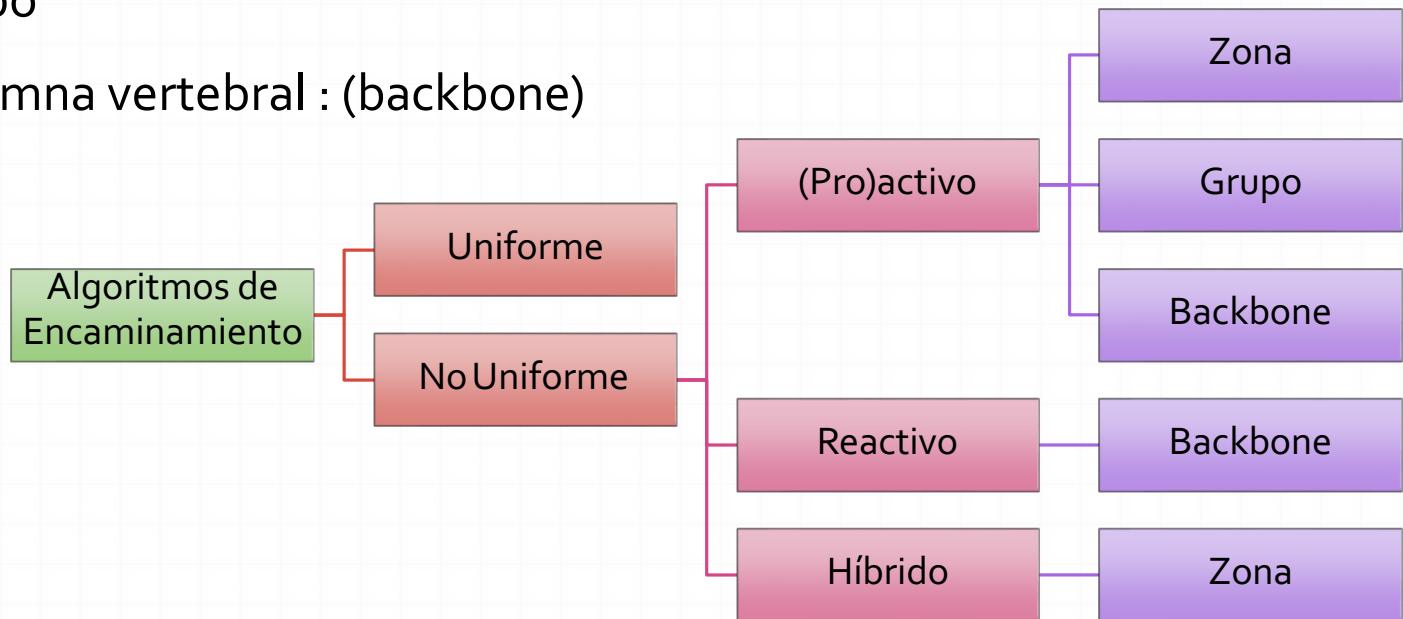
- **Destino:**
 - el conocimiento en este caso se restringe al ámbito local.
 - El grupo más numeroso de entre esta clase de protocolos son los llamados “distancia-vector”:
 - en lugar de rutas completas, mantienen cierta medida de la distancia hasta distintos destinos -generalmente el número de saltos mínimo- y el vector de dirección hacia ellos -el identificador del nodo del salto siguiente.
- Ejemplos de algoritmos
 - WRP
 - DSDV

Encaminamiento en redes ad hoc inalámbricas

- **Posición:**
 - el conocimiento de cada nodo se basa en las coordenadas geográficas de sí mismo y del resto.
 - El principio del encaminamiento consiste en la aproximación secuencial hacia el destino mediante la implementación de saltos al vecino que esté más próximo a este.
 - En redes de topología homogénea resulta una técnica muy eficiente;
 - sin embargo, en presencia de discontinuidades u obstáculos debe apoyarse en algoritmos específicos para mejorar su rendimiento;
 - Al mismo tiempo, esta aproximación requiere un sistema de posicionamiento absoluto o relativo, lo cual limita considerablemente su aplicación.
 - Ejemplo
 - DREAM
 - GPSR

Encaminamiento en redes ad hoc inalámbricas

- Por su parte, los protocolos **no uniformes** pueden catalogarse en función del tipo de organización que presentan, diferenciándolos según su base en:
 - Zona
 - Grupo
 - Columna vertebral : (backbone)



Encaminamiento en redes ad hoc inalámbricas

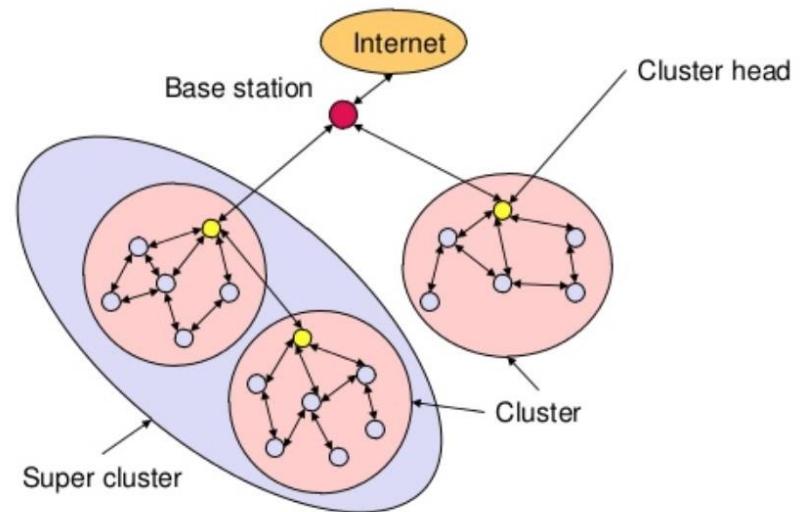
- **Zona:**
 - Los nodos son agrupados según la zona geográfica que ocupan. Así, se reduce la sobrecarga de mantenimiento de ruta al ámbito local de la misma.
 - Una vez más, es necesario el conocimiento de la posición de los nodos y el consiguiente sistema que lo proporcione.
 - ZHLS (Zone-based Hierarchical Link State Routing Protocol)
 - La red se divide en zonas que no se solapan

Encaminamiento en redes ad hoc inalámbricas

- **Grupo:**

- la asociación de nodos se realiza en torno a uno de ellos (clusterhead) que actúa como líder del grupo, responsabilizándose del alta y la baja de nodos en el grupo y de ciertas funciones jerarquizadas del encaminamiento.

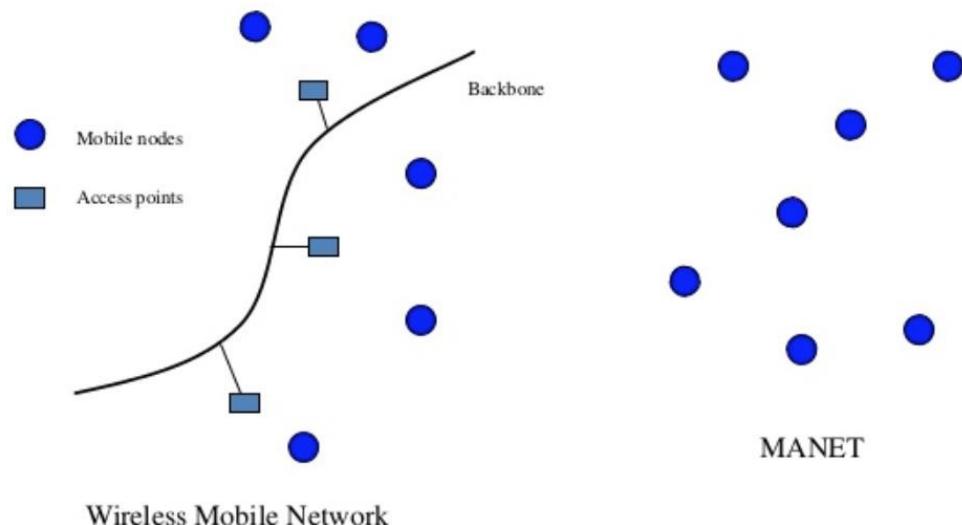
- Esta jerarquía reduce la sobrecarga de control de la red a partir de nodos que, en la mayoría de los casos, requieren capacidades más amplias que las del resto.



Encaminamiento en redes ad hoc inalámbricas

• Columna vertebral

- un conjunto de nodos son seleccionados dinámicamente para conformar una columna vertebral (backbone) de la red.
 - A dichos nodos se les asignan funciones especiales como la construcción de caminos y la propagación de paquetes de control y datos.
- El resto de nodos se apoya en estos para realizar el establecimiento de ruta para la comunicación deseada.
- Una vez más, se logra una alta capacidad de adaptación a las ampliaciones de la red y un control del encaminamiento a un menor coste;
- Por el contrario, sigue incurriendose en cierto gasto de mantenimiento de la estructura.



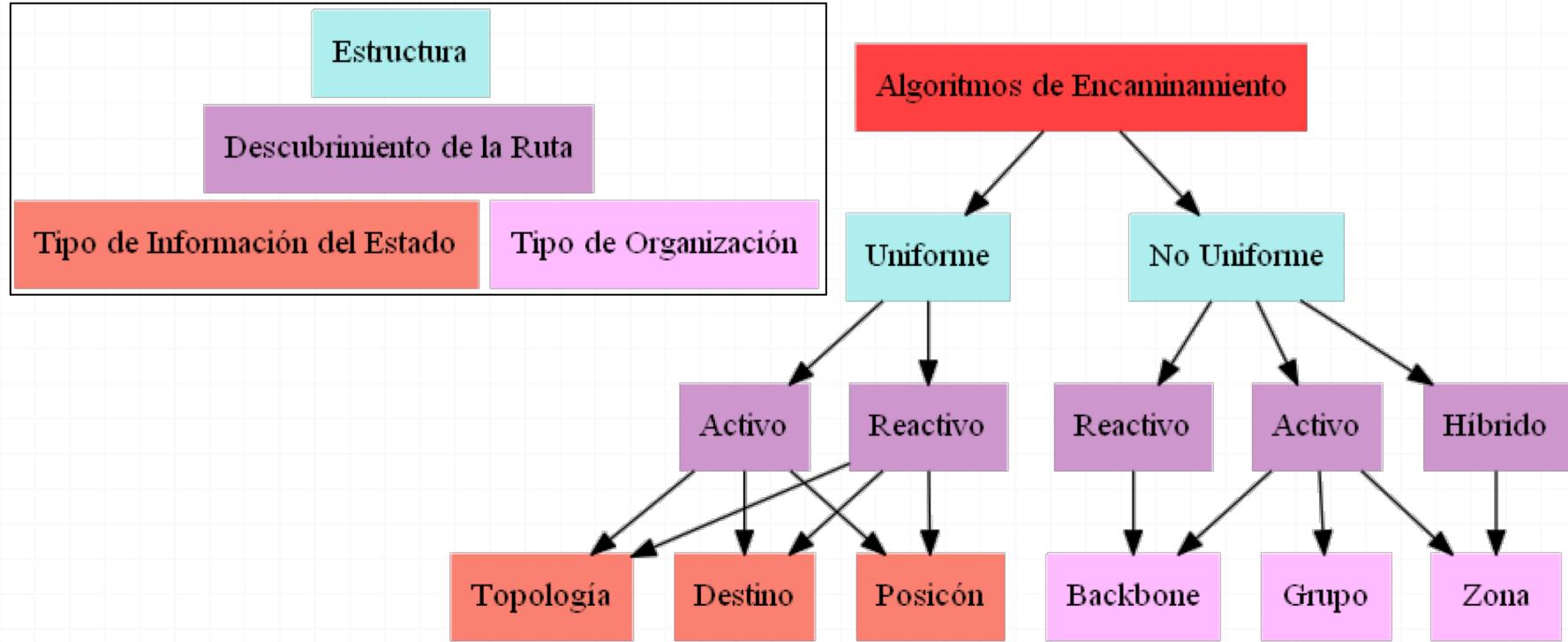
También se habla de ...

- Encaminamiento Salto a Salto (Hop by Hop Routing)
 - Cada router decide sólo el siguiente salto
 - La información de encaminamiento la guardan los routers
- Encaminamiento en Origen (Source Routing)
 - La ruta se establece al enviar el paquete
 - Cada paquete lleva incluida su ruta
 - La información de encaminamiento la guarda el paquete

	Encaminamiento salto a salto	Encaminamiento en origen
Proactivos	DSDV, OLSR, CGSR, WRP, TBRPF	
Reactivos	AODV, LMR, TORA	DSR, LQSR

Encaminamiento en redes ad hoc inalámbricas

- Resumen de clasificaciones -



Algoritmos de encaminamiento

Algoritmos de encaminamiento Ad Hoc Uniformes

DSVD

WRP

FSR

TBRPF

OLSR

CGSR

(Pro)Activos - Dirigidos por tablas

AODV

DSR

TORA

ABR

SSR

Reactivos - Iniciado por la fuente (bajo demanda)

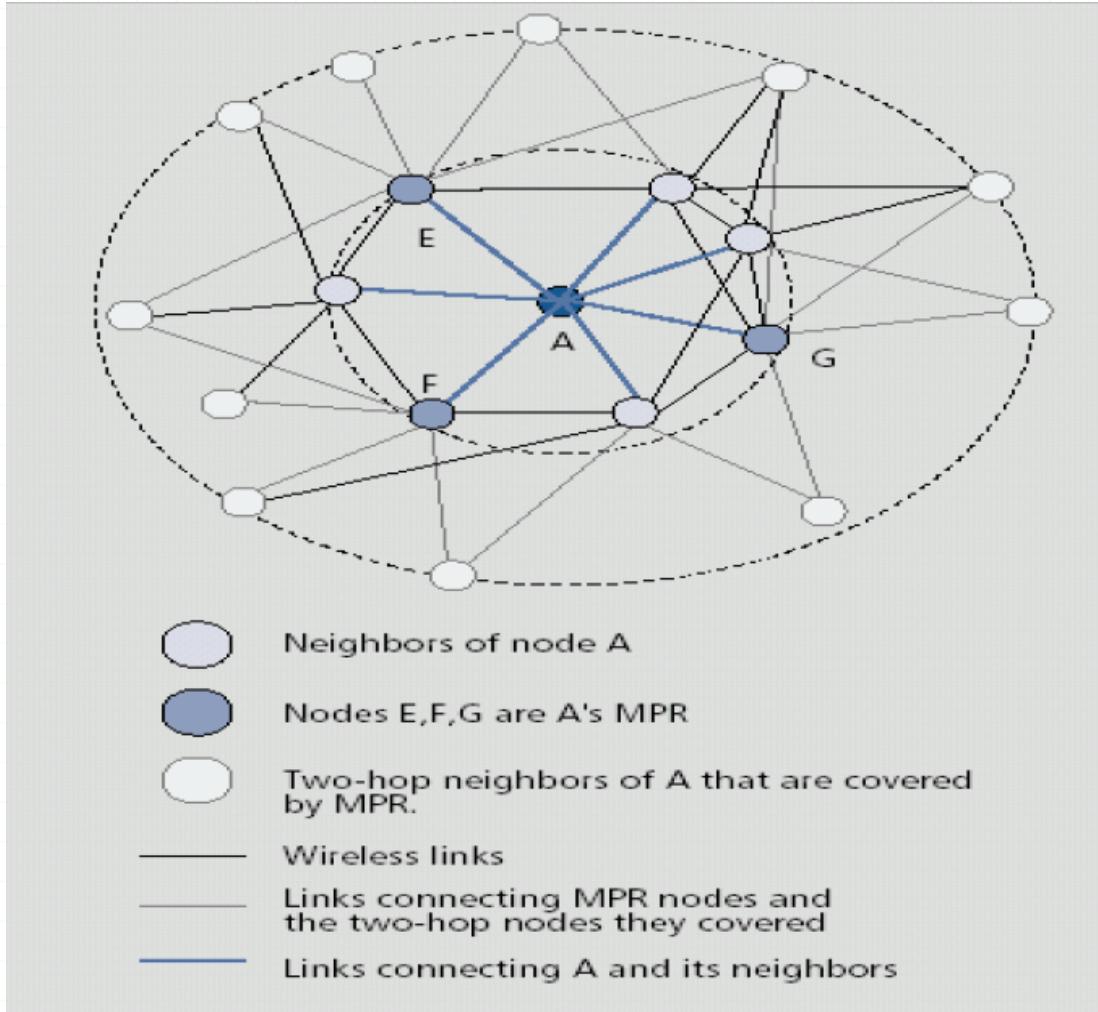
OLSR - Optimized Link State Routing

- Protocolo **proactivo** - Encamina salto a salto
- Creado por INRIA y estandarizado por IETF
- OLSR disemina la información mediante un mecanismo de inundación eficiente basado en **multipoint relays** (retransmisión multipunto)
 - Solo algunos vecinos (MPRs) retransmiten la información de encaminamiento
 - Reduce la retransmisión de broadcast superfluo y el tamaño de los paquetes LS.

OLSR - Optimized Link State Routing

- Para ello, cada nodo elige un subconjunto de entre sus nodos vecinos retransmisores (*multipoint relays*) **MPR**
 - Se encargan de retransmitir los mensajes que envía el nodo en cuestión.
 - **Los demás vecinos del nodo no pueden retransmitir**, lo que reduce el tráfico generado por una operación de *inundación*.
- Hay varias formas de escoger los *multipoint relays* de un nodo, pero independientemente de la forma de elección,
- El conjunto de MPRs de un nodo **debe verificar** que son capaces de alcanzar a todos los vecinos situados a una distancia de 2 saltos del nodo que los calcula (**criterio de cobertura de MPR**).

OLSR



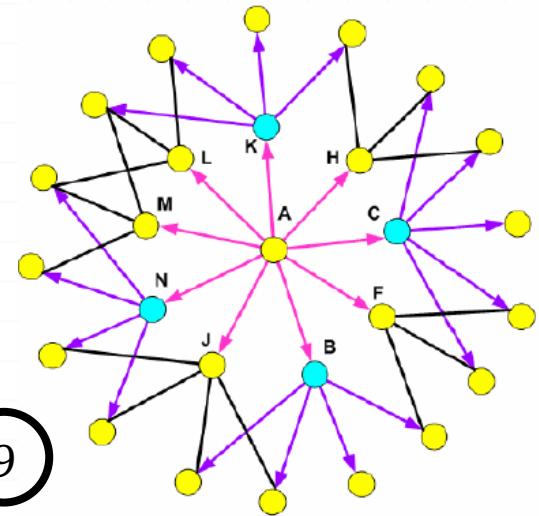
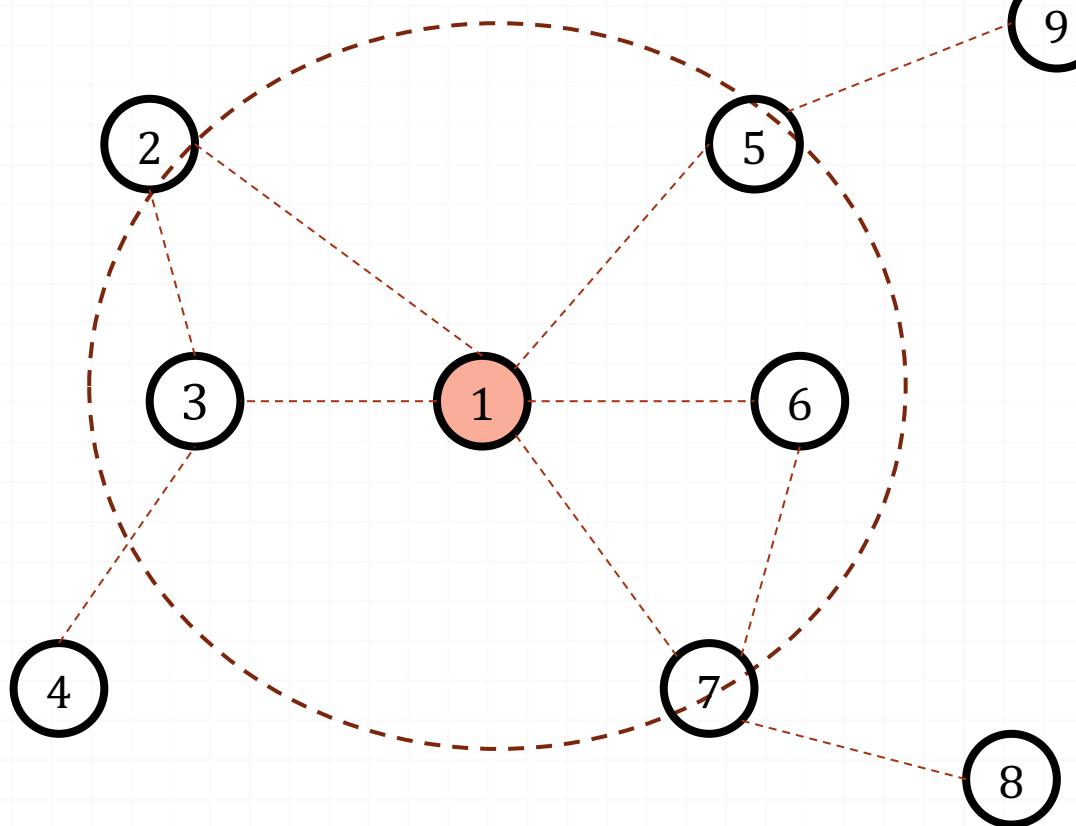
- Sólo los nodos MPRs reenvían las actualizaciones LS
- OLSR es adecuado para redes **densas**
- En redes dispersas, todos los vecinos son nodos multipoint

Mensajes OLSR

- Se generan dos tipos de mensajes de **tráfico de control**
 - Los mensajes **HELLO**
 - Son enviados **periódicamente** a sus nodos vecinos
 - No son retransmitidos (**alcance local**).
 - Contienen la lista de vecinos conocidos por el nodo emisor así como la identidad de los *multipoint relays*
 - Permite conocer los nodos situados a 1 y 2 saltos de distancia (es decir, aquellos a los que se puede hacer llegar un mensaje con una transmisión directa o con una transmisión y una retransmisión) y saber si ha sido seleccionado como MPR por alguno de sus vecinos.
 - Los mensajes **TC** (*Topology Control*)
 - Son enviados **periódicamente** y de forma **asíncrona**.
 - Informan acerca de su **topología cercana**.
 - Son de **alcance global** y deben llegar a todos los nodos de la red.
 - El conjunto de los mensajes TC recibidos por un nodo inalámbrico le permite reconstruir su base de datos topológica, computar el árbol de caminos mínimos (mediante el algoritmo de Dijkstra) y calcular así la tabla de enrutamiento hacia todas los posibles destinos.
 - La diseminación de mensajes TC se hace de acuerdo con el mecanismo de **flooding basado en MPR**.

OLSR

- Ejemplo:
Elección de MPR (para 1) -



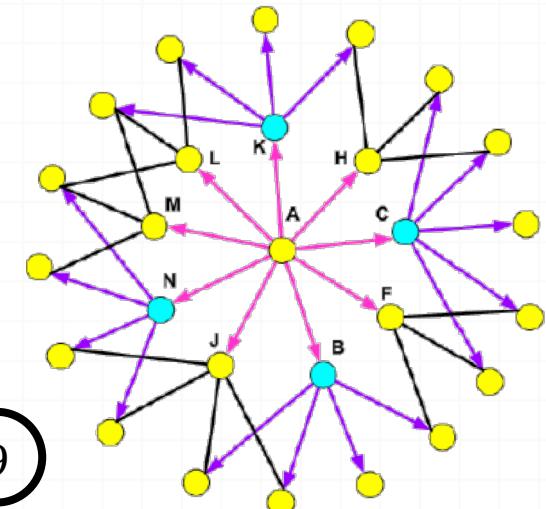
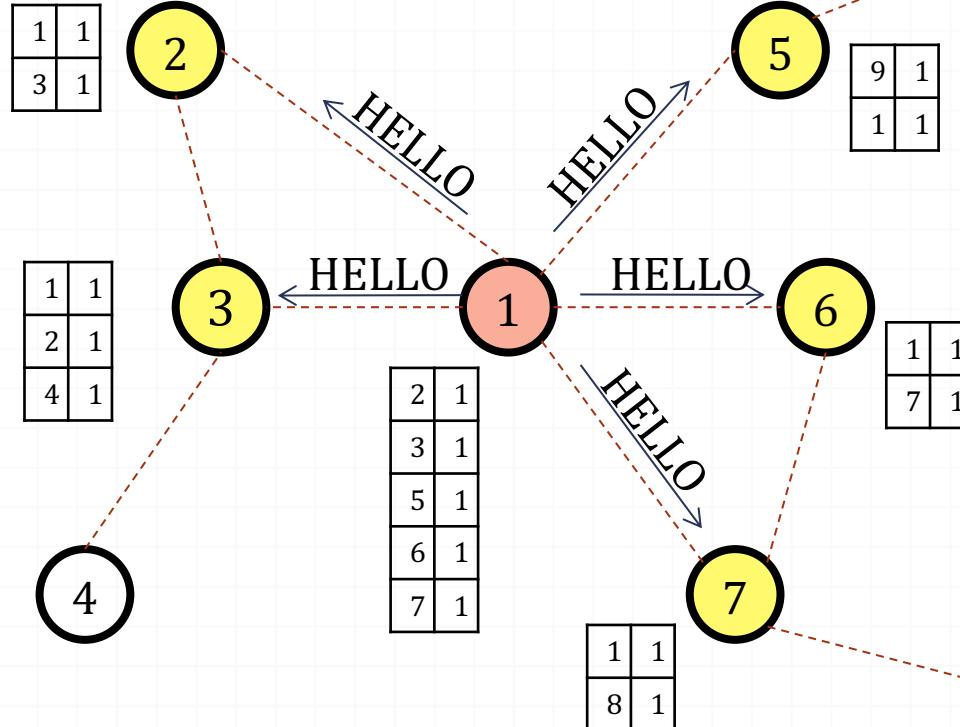
1.1

Nodos a un paso de 1
(TTL de HELLO == 1)

OLSR

- Ejemplo:

Elección de MPR (para 1) -



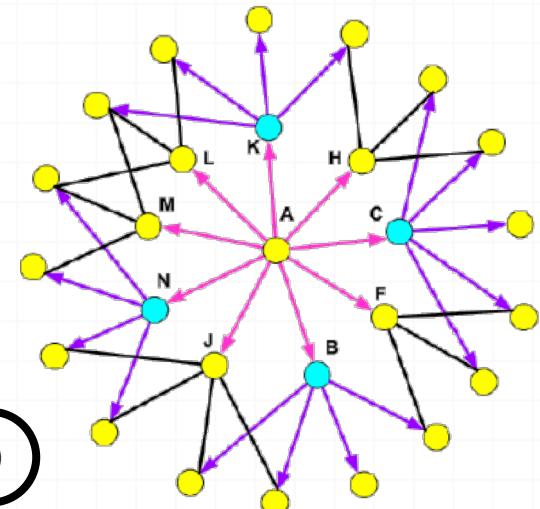
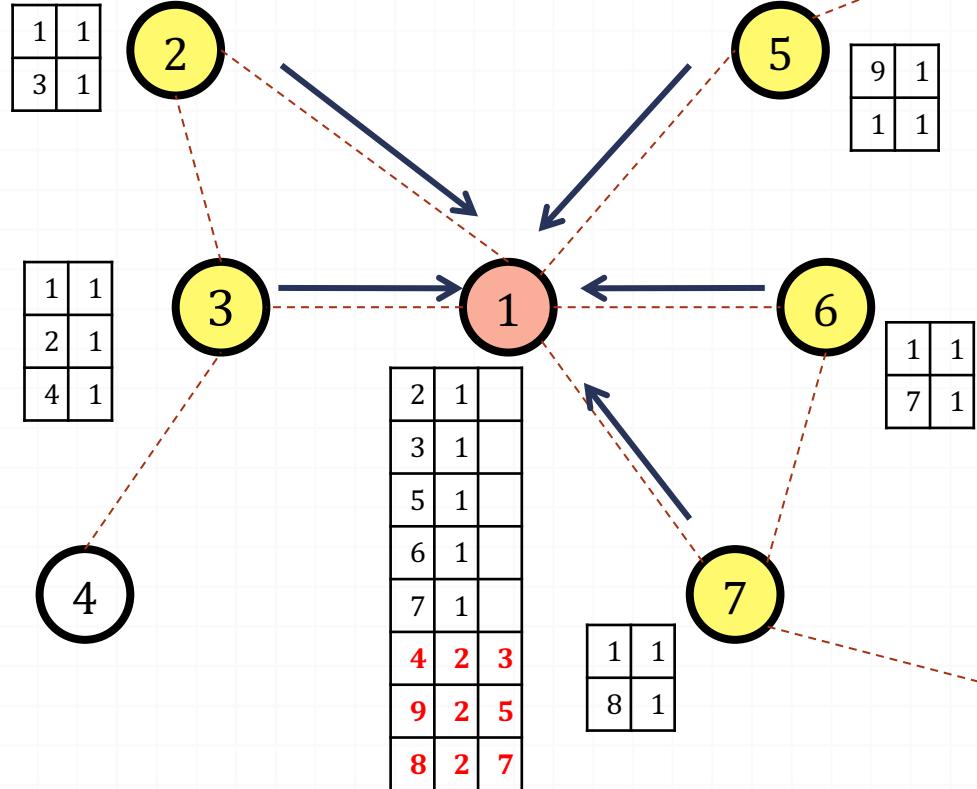
1.1

Nodos a un paso de 1
(TTL de HELLO == 1)

OLSR

- Ejemplo:

Elección de MPR (para 1) -



D	n	V
---	---	---

El nodo D (destino)
Está a **n** saltos a través
del nodo V (vecino)

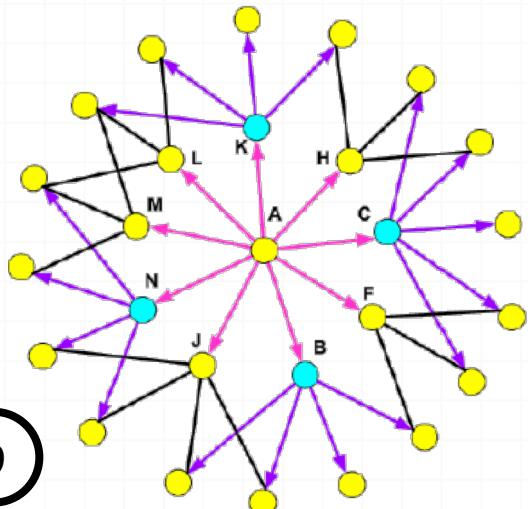
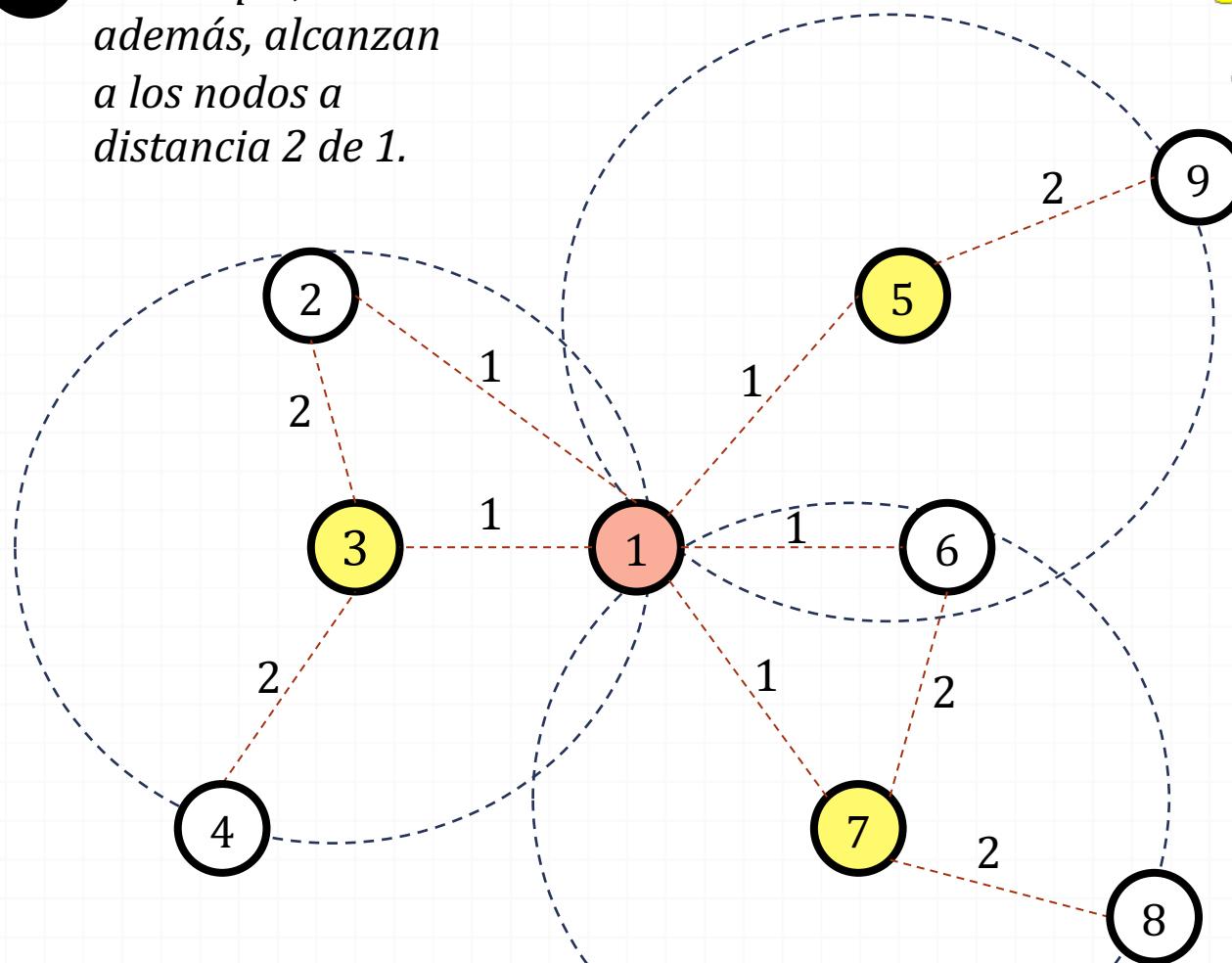
1.1 Nodos a un paso de 1

1.2 Nodos que,
además, alcanzan
a los nodos a
distancia 2 de 1.

OLSR

- Ejemplo:

Elección de MPR (para 1) -



1

Elección de MPRs

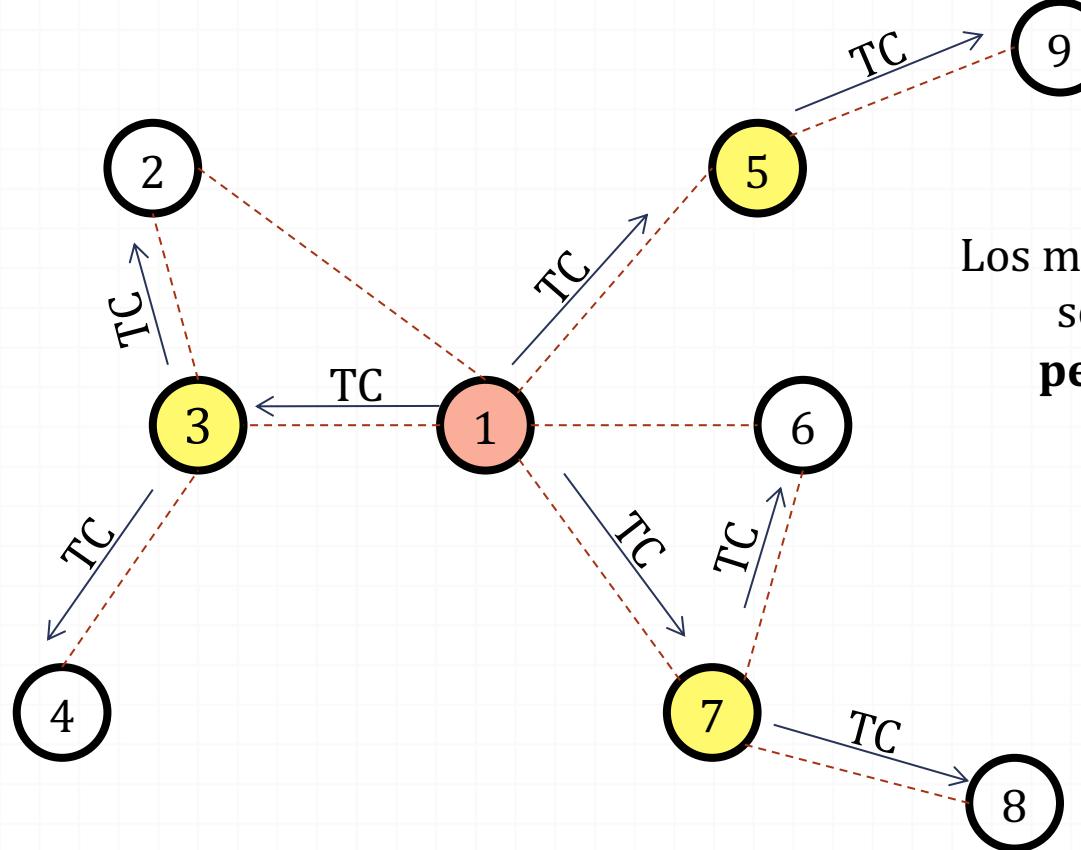
2

Propagación

OLSR

- *Ejemplo:*

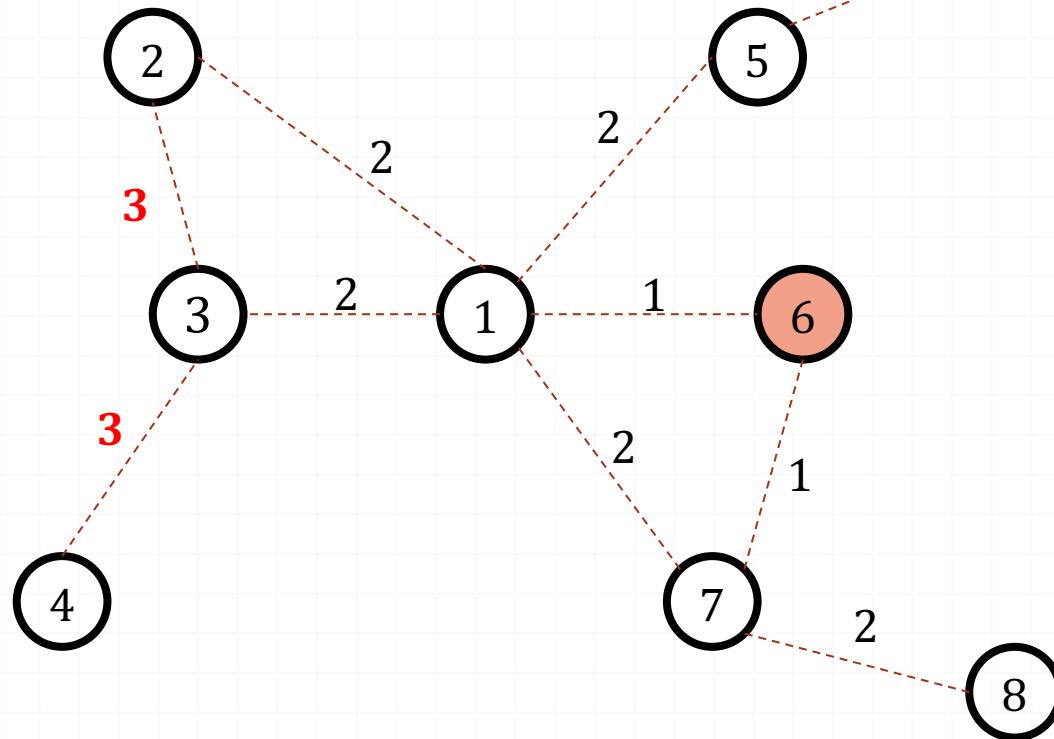
Propagación de Topología -



Los mensajes TC también
son propagados
periódicamente.

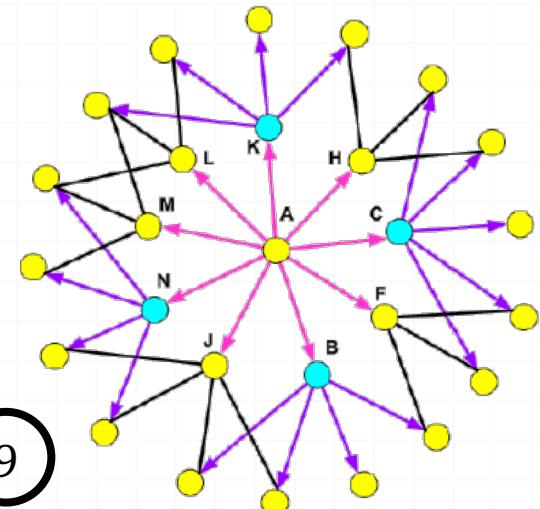
Cada nodo define sus propios MPRs, en el caso de 6, nos interesarán otros nodos.

Recordad el Criterio de Cobertura



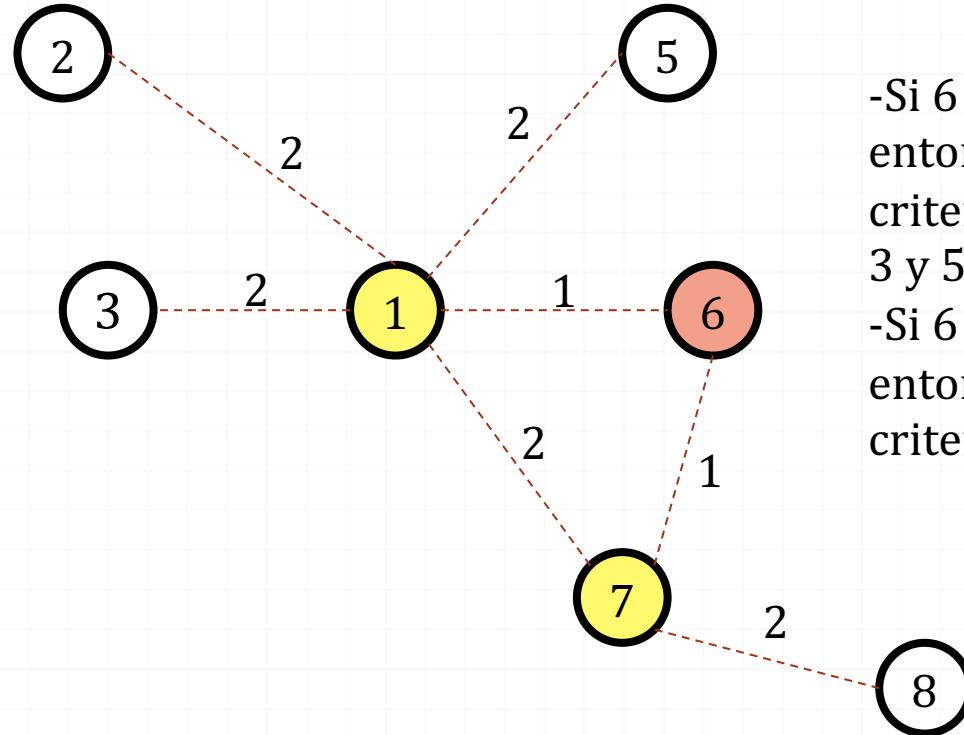
OLSR

- Ejemplo:
Los MPRs de 6-



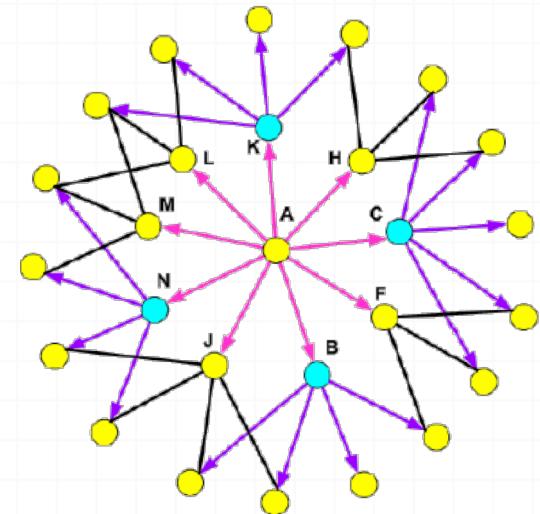
Cada nodo define sus propios MPRs, en el caso de 6, nos interesarán otros nodos.

Recordad el Criterio de Cobertura



OLSR

- Ejemplo:
Los MPRs de 6-



- Si 6 prescinde de 1, entonces no satisface el criterio de cobertura para 2, 3 y 5.
- Si 6 prescinde de 7, entonces no satisface el criterio de cobertura para 8.

Otros mensajes OLSR

- A parte de los mensajes HELLO y TC, los nodos pueden enviar mensajes para indicar otras características:
- Multiple Interface Declaration (MID)
 - Mensajes usados para informar a otros nodos de que el nodo que envía el mensaje puede tener múltiples direcciones de interfaz OLSR.
- Host and Network Association (HNA)
 - Mensajes usados para posibilitar el routing usando direccionamiento externo.
 - Proporciona información sobre la red y la máscara.
 - Se puede considerar que el nodo que anuncia el mensaje HNA puede ser usado como gateway hacia la red indicada en el mensaje.
- Como los mensajes HELLO y TC, los mensajes MID y HNA sólo son enrutados por los nodos considerados MPRs, a fin de minimizar el impacto que el broadcast de **mensajes de control periódicos** supone para este tipo de redes.

AODV - Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing

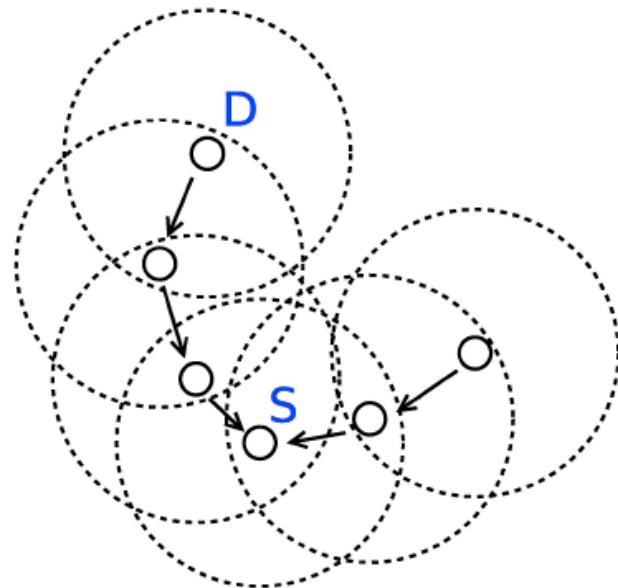
- Bajo demanda
- Encamina **salto a salto**
- Vector de distancias:
 - Nadie tiene el grafo completo
 - Para cada posible destino solo se conoce el primer salto por donde debe encaminarse y la distancia a la que se encuentra
- Para distinguir la información moderna de la antigua, se emplean **marcas de tiempo** (horas) lógicas (Identificador de nodo, Nº de secuencia)
- La **hora lógica es local**, no hay reloj absoluto
- Toda información acaba caducando, típicamente al cabo de pocos segundos

AODV

- Cuando se necesita una ruta desde un origen (Source) hasta un destino (Destination), se inunda la red con peticiones RREQ (Route REQuest)
- Utiliza “aprendizaje hacia atrás”
 - Cuando se recibe una petición RREQ el nodo por el que transita aprende el camino hasta el origen, e introduce la ruta en la tabla de encaminamiento
 - El paquete de petición se descarta si encuentra un nodo que ya tiene una ruta al destino
- Cuando un RREQ llega al destino buscado, o a alguien que conoce una ruta para el destino, se genera una respuesta RREP (Route RREP)
- El RREP sabe volver al origen porque la inundación de RREQ fue creando el camino de vuelta
- Cuando el RREP va volviendo al origen, va creando el camino de ida
- Una vez que el origen ha recibido el RREP, ya puede enviar datagramas, que seguirán el camino de ida

AODV

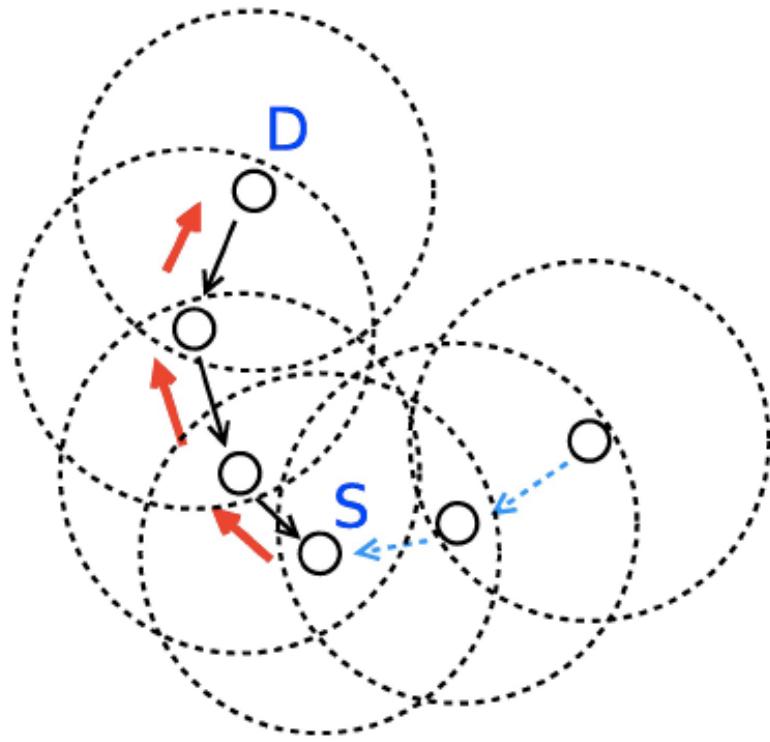
0 Formación de camino de vuelta



- El RREQ tiene que saber volver:
 - Cuando las peticiones de ruta inundan la red, las tablas apuntan hacia el origen
 - Si un nodo no sabe responder la petición de ruta, la reenvía
- Las tablas almacenan, en cada entrada, la hora lógica en el origen

Las flechas representan donde apuntan las tablas. La petición de ruta viaja en sentido inverso

AODV



- El RREQ tiene éxito si llega al destino o alguien que sabe llegar al destino
- Cuando el RREP vuelve, las tablas de los nodos apuntan hacia el destino.
- También se conserva la hora lógica del destino
- Si transcurrido cierto tiempo no llega un RREP, se borra la información

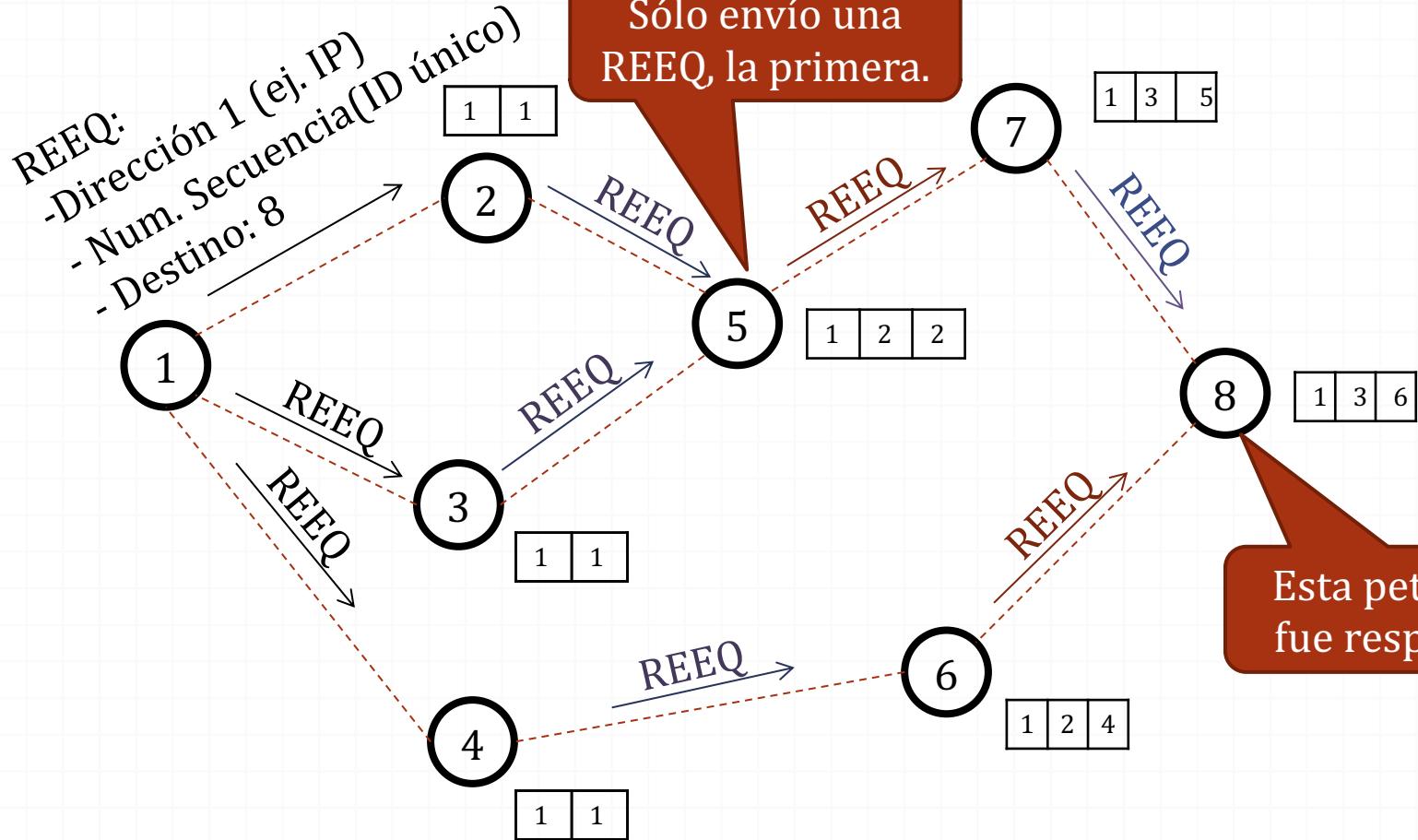
1

Broadcast RREQ

AODV

- Ejemplo -

Usamos **reserva de recursos** para REEP



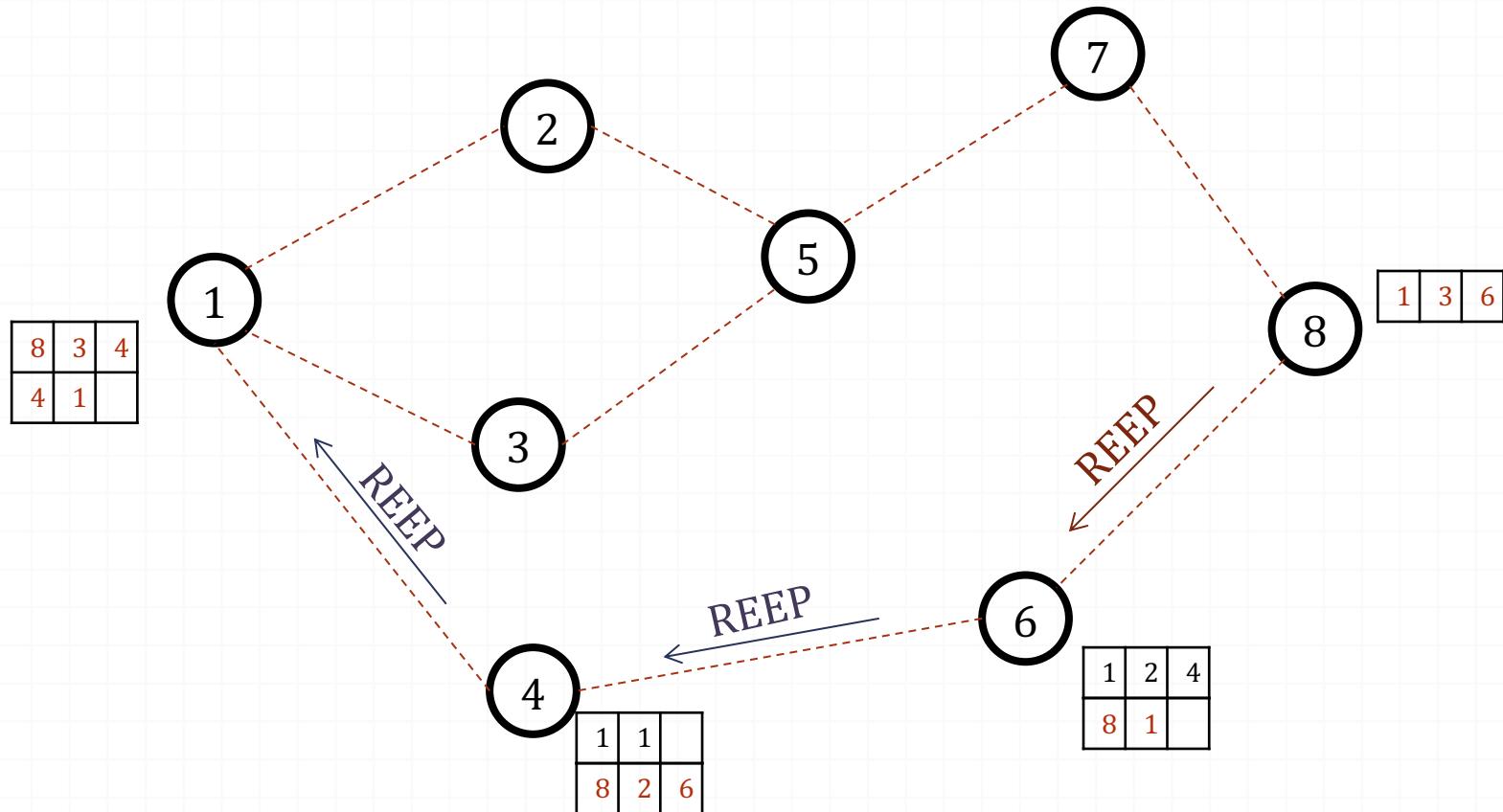
2

Respuesta RREQ

AODV

- Ejemplo -

Usamos **reserva de recursos** para REEP



3

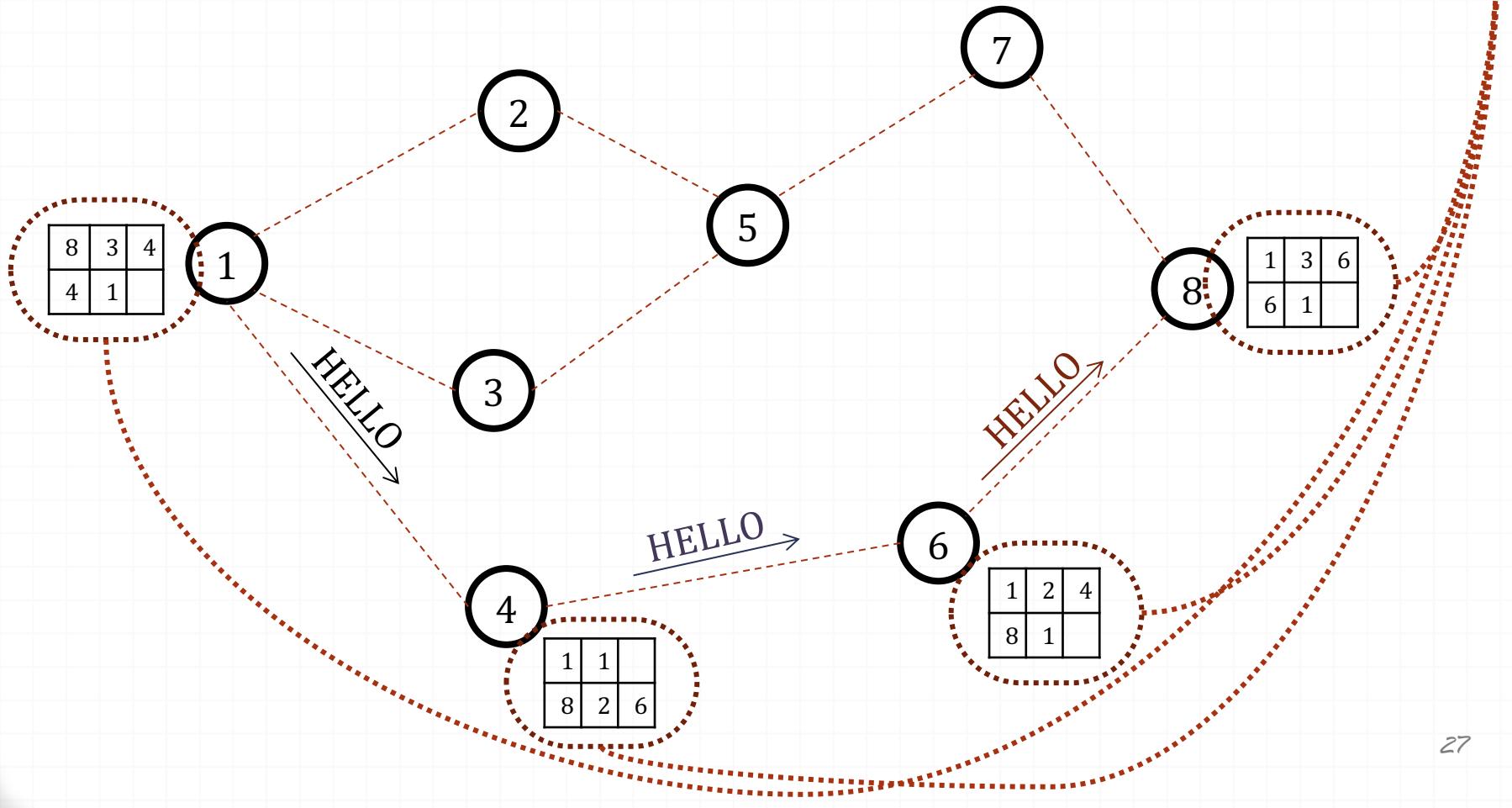
Mantenimiento

AODV

- Ejemplo -

Usamos **reserva de recursos** para REEP

El camino tiene asociado un Tiempo de Vida (Active Route Timeout, ART)



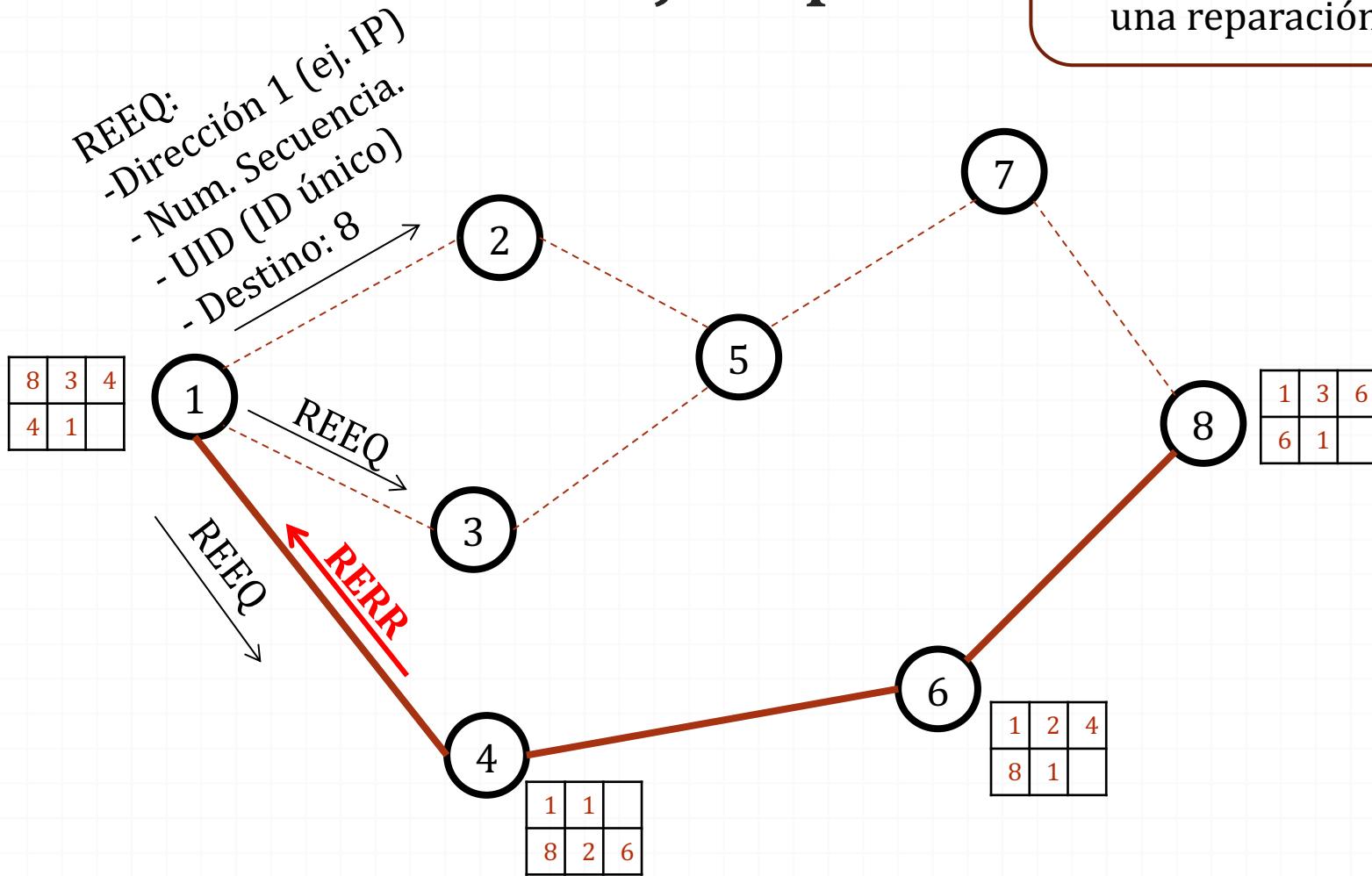
4

Enlace roto // tiempo expiración

AODV

- Ejemplo -

Cuando el ART expira o el enlace falla, se repite todo el proceso si no es posible una reparación local.

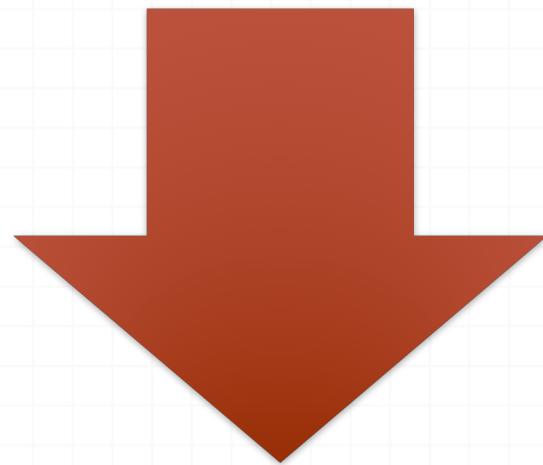


AODV

- Reparación -

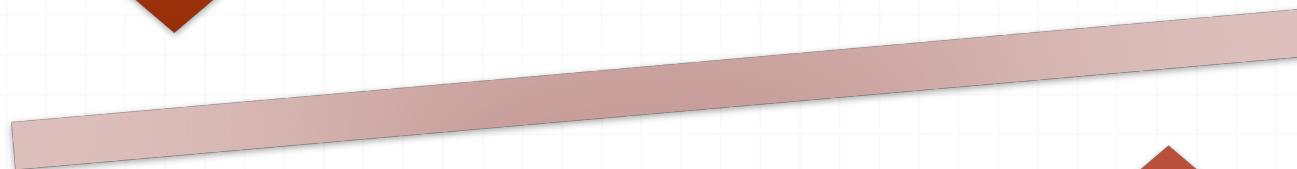
- Cuando un enlace falla el nodo puede intentar arreglar el camino, si el destino está a **menos de una serie de saltos** especificados según la red.
- Para reparar el camino:
 - Se incrementa el **número de secuencia** del RREQ que originó el camino y se realiza un broadcast del nuevo RREQ a los nodos vecinos, con un TTL adecuado.
 - Si se recibe una **respuesta RREP** aceptable, entonces, es posible reparar el camino.
 - Para indicar que el camino fue reparado localmente, se envía al nodo origen un **PERR con el campo N activo** (reparación local efectiva).
- Se indica un TTL adecuado para que la reparación se haga a nivel local, y no acabe extendiéndose el broadcast por toda la red.

...resumiendo



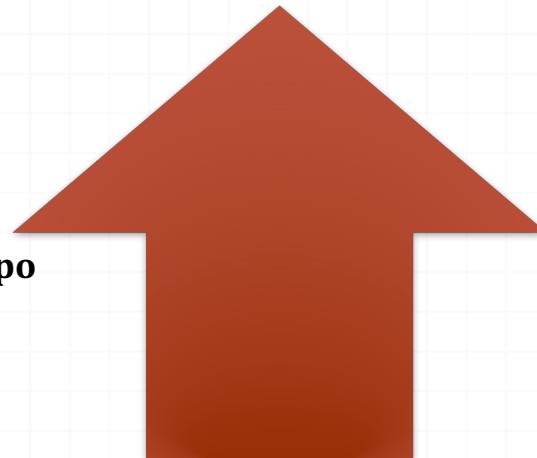
Enfoque **proactivo** suele implicar

- Basados en tablas de **actualización periódica**
- Alguna variante de Estado del enlace (inf. Completa del grafo, Dijkstra)
- Exigencia de respuesta rápida
- La modificación de una ruta puede afectar a cualquier nodo
- El número de rutas útiles es relativamente bajo frente a todas las posibles
- Mayor tráfico en la red, en los nodos, mayor carga CPU y menor duración de baterías



Enfoque **reactivo** (bajo demanda) suele implicar

- Asumible **latencia alta para el primer paquete**
 - Hay una fase de descubrimiento de ruta, en la que se difunden paquetes de petición en busca de un camino.
- Aunque la topología cambie, **una ruta individual vive cierto tiempo**
- Cierta independencia entre las rutas
- El numero de rutas útiles es alto frente a todas las posibles
- Mejor adaptación a **dispositivos móviles** → **menor carga CPU y mayor duración baterías**
- **Menor tráfico** en la red



DSR - Dynamic Source Routing

- **Bajo demanda**
- **Encaminamiento desde origen:**
 - El origen indica en la cabecera del paquete la secuencia de nodos intermedios de la ruta
- DSR se **aprovecha de la información de encaminamiento** de los nodos intermedios para no sobrecargar la red con la búsqueda de ruta
- Cada nodo mantiene una **caché con las rutas de en las que participa**, escogiendo entre el **conjunto de caminos alcanzables**
- **No usa mensajes HELLO** para el mantenimiento ni transmisiones periódicas
- **Desventajas:**
 - El diámetro de la red no puede ser demasiado grande ya que la cabecera del paquete podría ser más grande que el propio contenido
 - La velocidad de los nodos ha de ser moderada; si es demasiado alta la caché local de encaminamiento se volvería obsoleta en poco tiempo

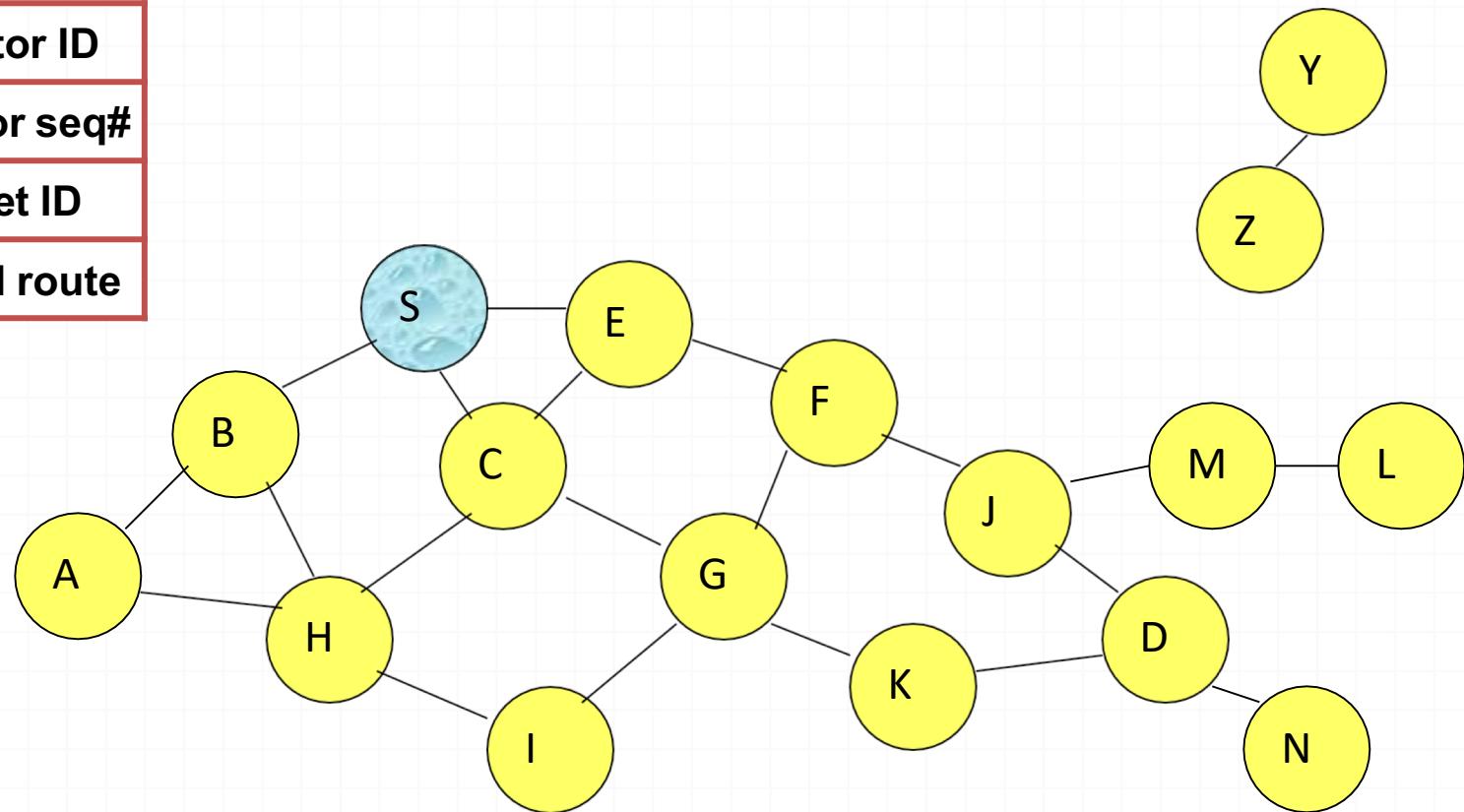
DSR - Dynamic Source Routing

- Dos fases:
 1. **Descubrimiento** de ruta
 - Petición de Ruta (RREQ)
 - Respuesta de Ruta (RREP)
 2. **Mantenimiento** de ruta
 - Error de Ruta (RERR)
- Cuando un nodo (origen) va a enviar un paquete, consulta la caché si tiene una ruta
 - Si tiene una ruta que no ha expirado, la usa
 - Si no hay ruta, inicia un proceso de descubrimiento de ruta
 - Petición de ruta por **inundación**. Cada petición lleva
 - **Identificador**, para no propagar por duplicado
 - La petición va registrando su ruta
 - Si llega a su destino, contesta al origen

Descubrimiento de ruta

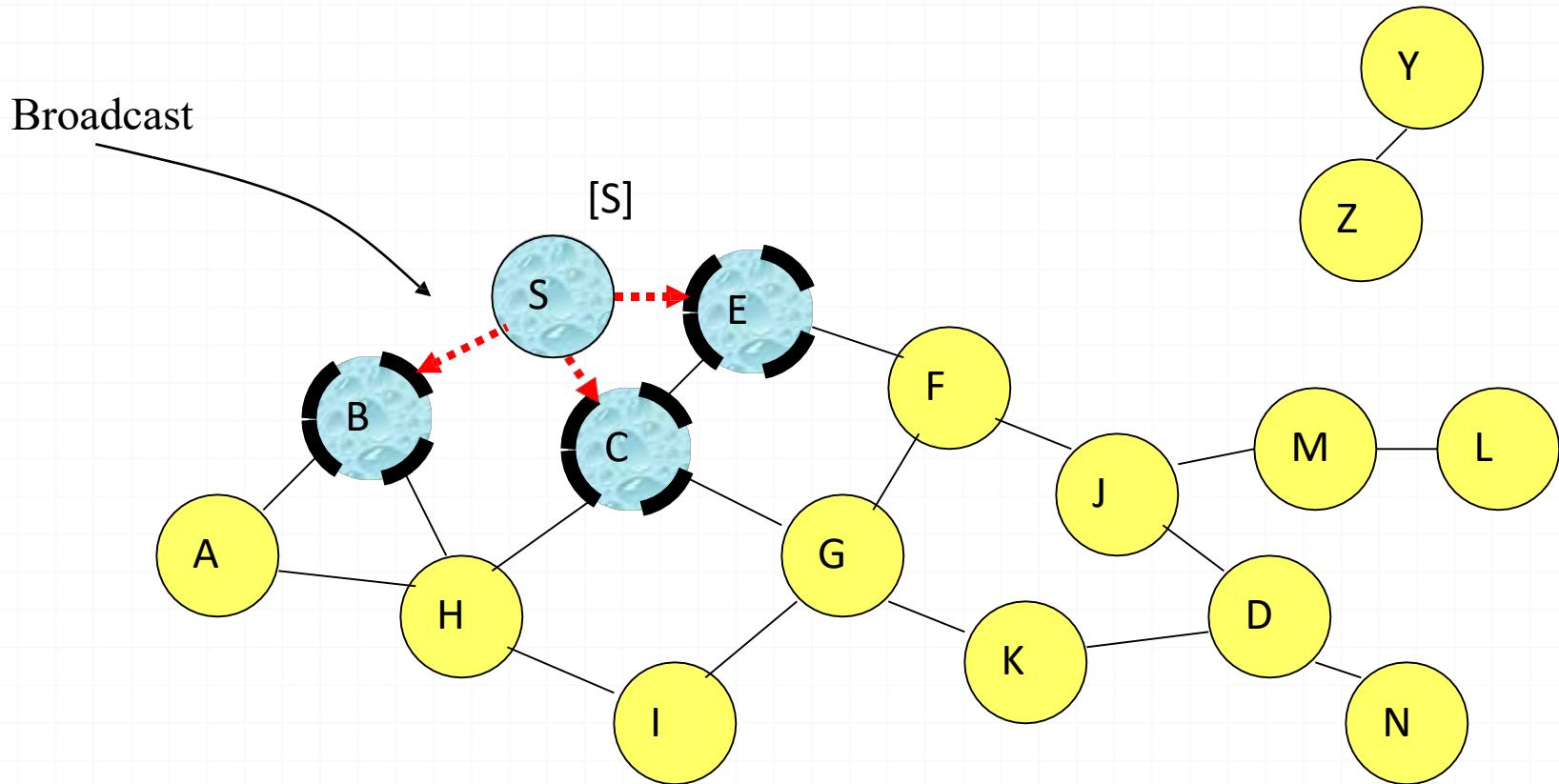
Formato del RREQ

Initiator ID
Initiator seq#
Target ID
Partial route



Represents a node that has received an RREQ from S for D

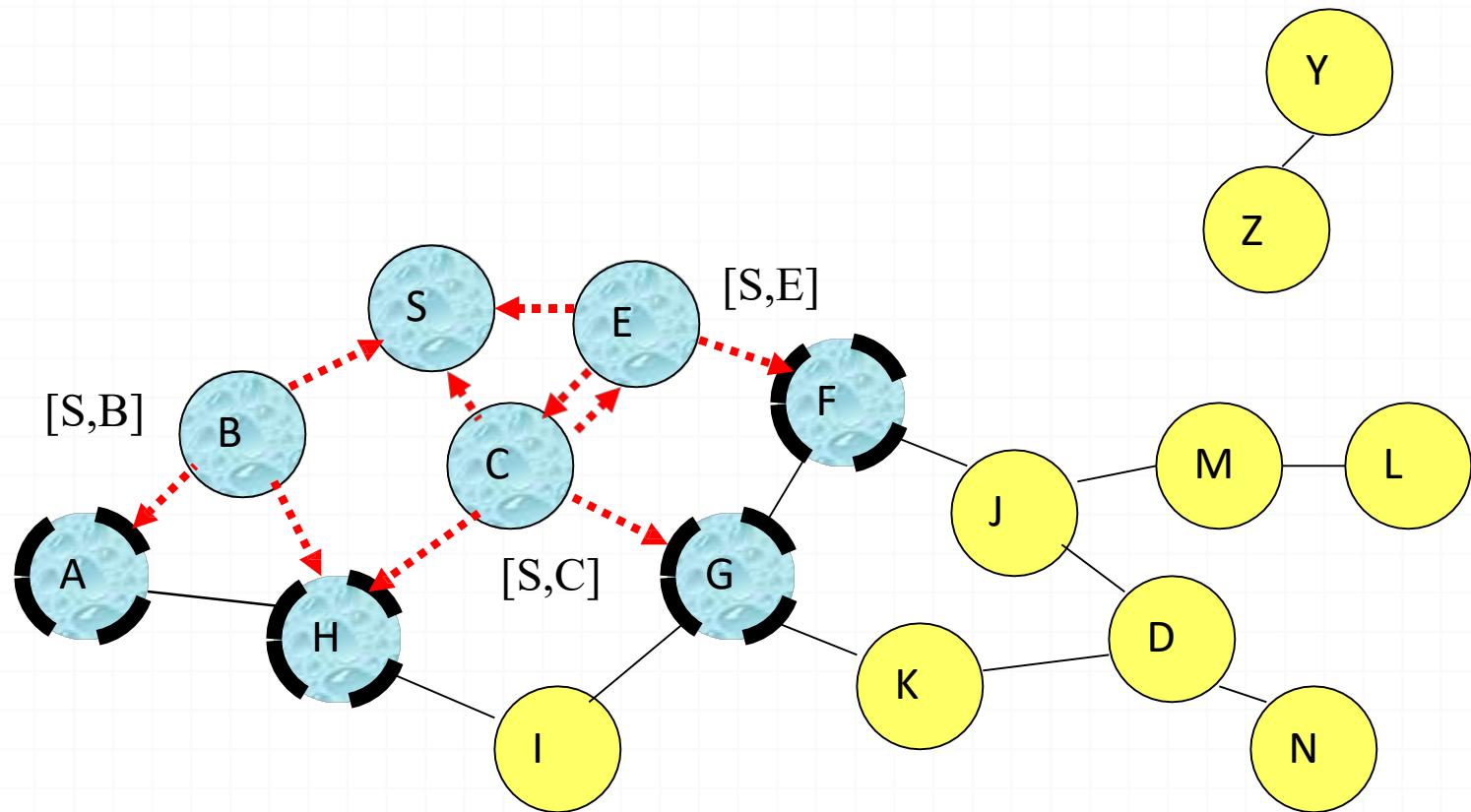
Descubrimiento de ruta



-----> Representa la transmisión del RREQ

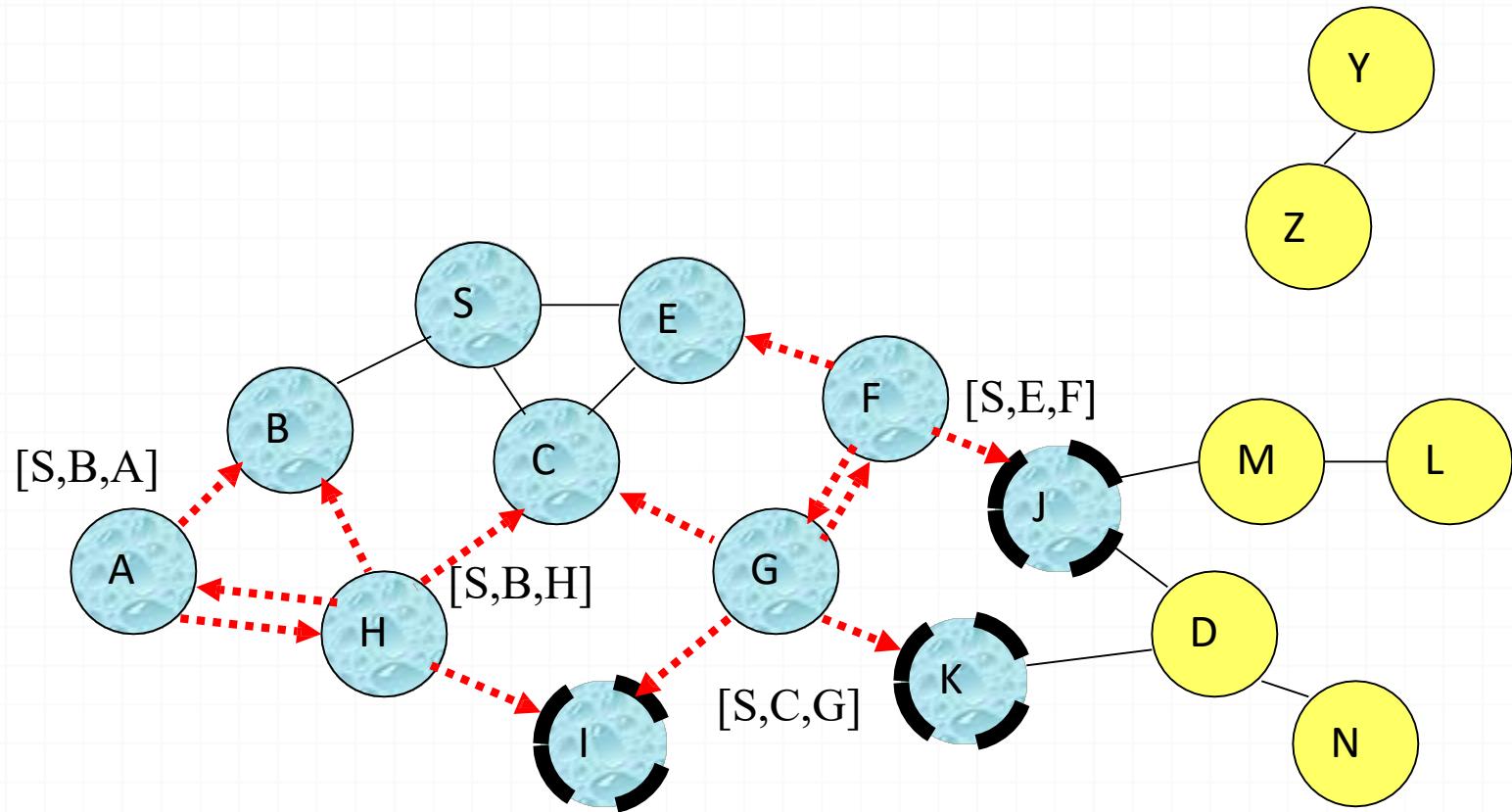
[X,Y] Representa la ruta guardada en el RREQ

Descubrimiento de ruta



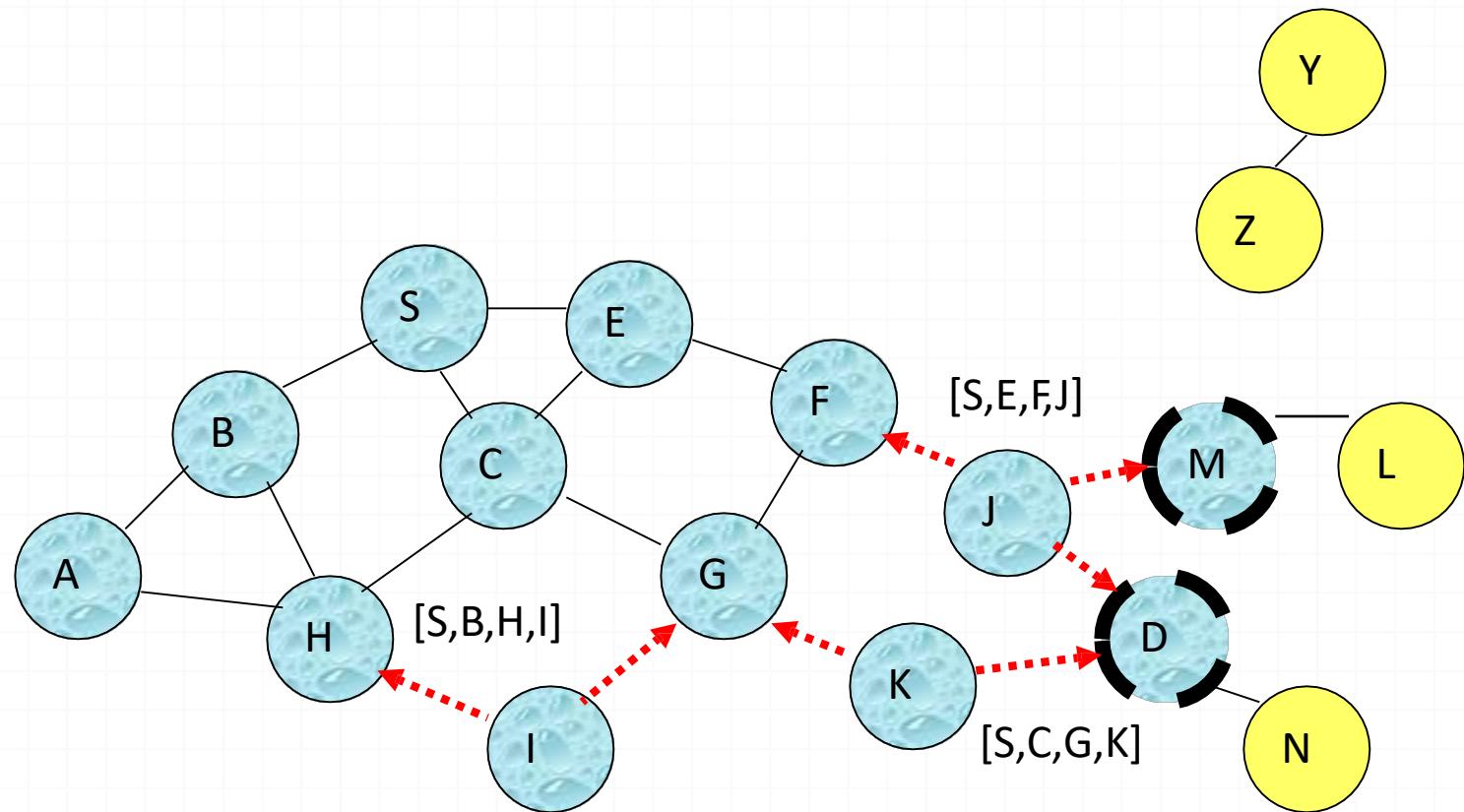
El Nodo H recibe el paquete RREQ de dos vecinos.
Posibilidad potencial de colisión

Descubrimiento de ruta



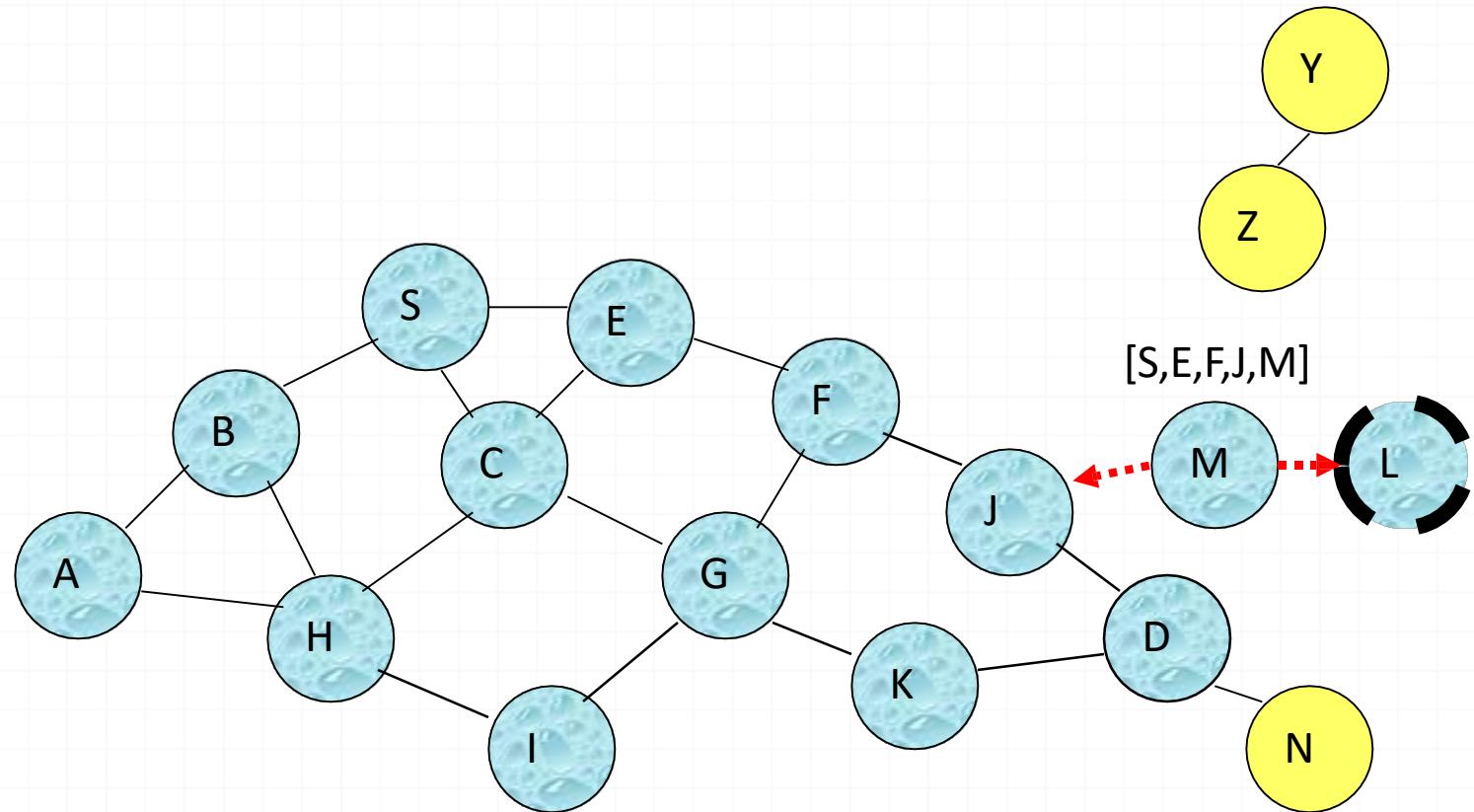
El nodo **C** recibe el RREQ de **G** y **H**, pero no lo reenvía porque ya lo había reenviado anteriormente.

Descubrimiento de ruta



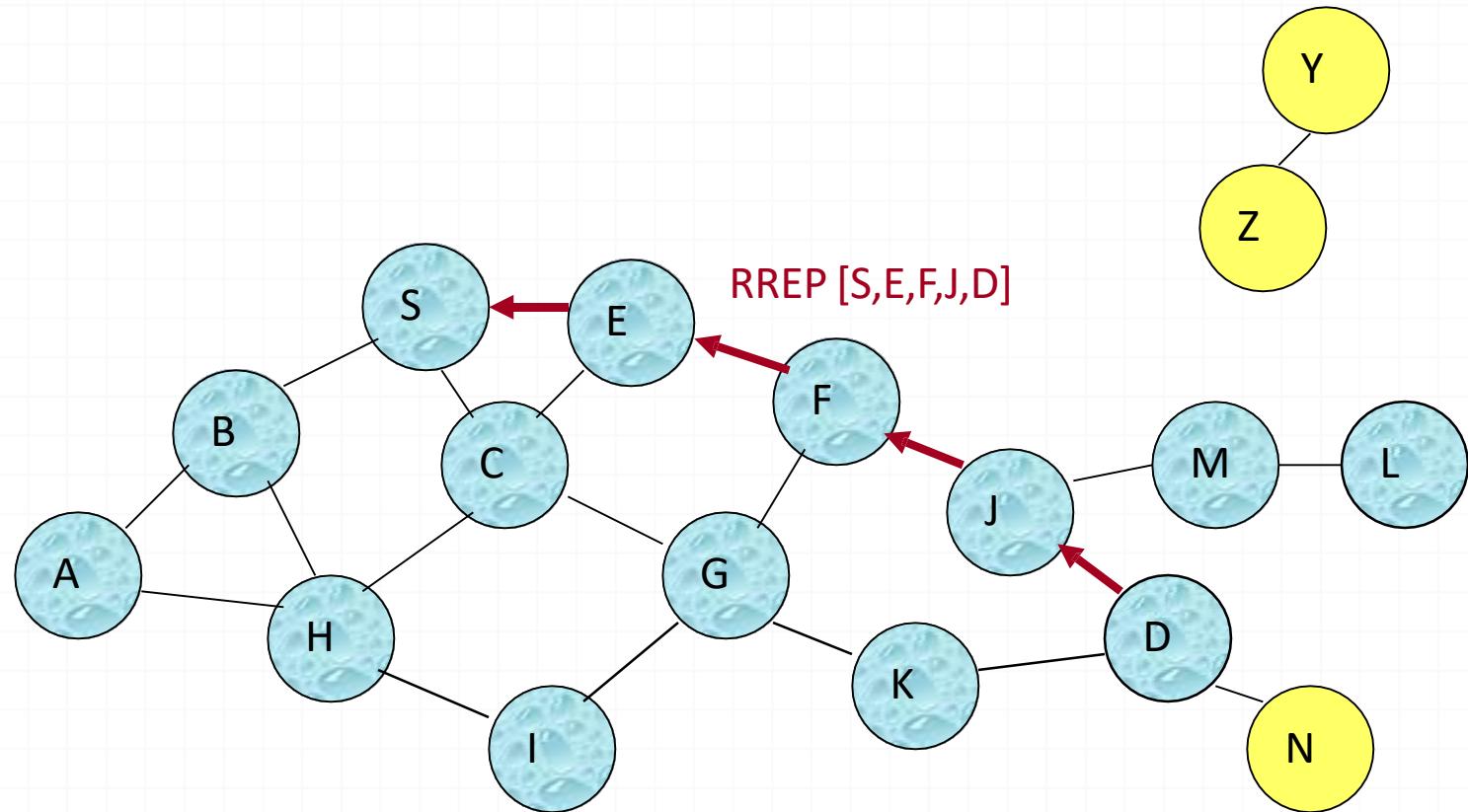
Ambos **J** y **K** envían el RREQ a **D**, y sus transmisiones podrían colisionar

Descubrimiento de ruta



D no reenvía RREQ porque es el destino

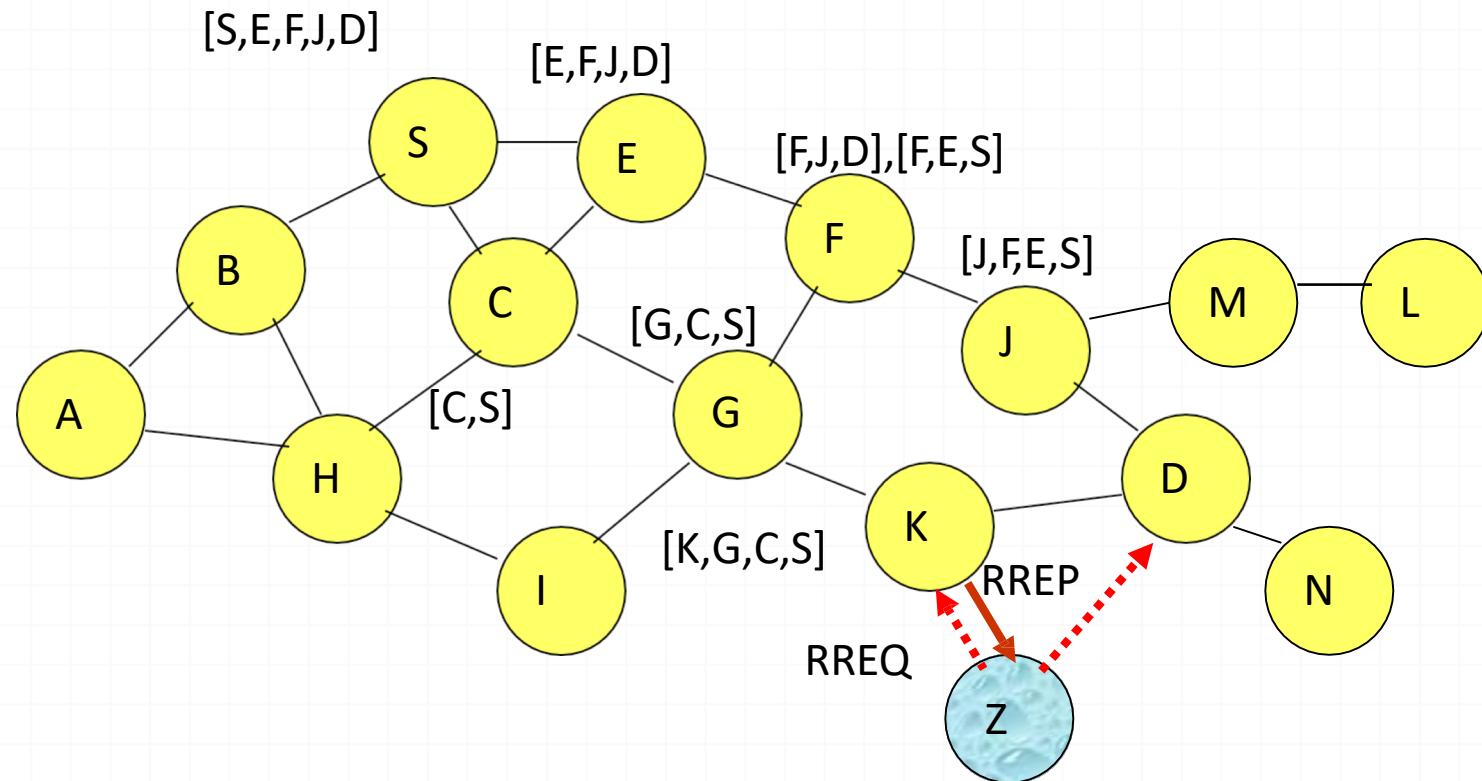
Descubrimiento de ruta



← Representa el mensaje de control RREP

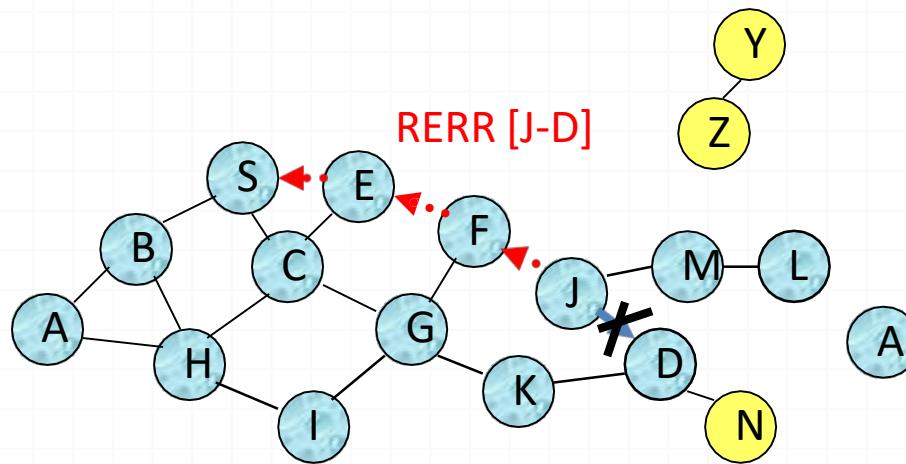
Mantenimiento de ruta

- Los nodos guardan en su caché cualquier ruta que hayan visto en paquetes capturados.
- Los nodos también pueden responder al nodo origen si tienen la ruta en caché.

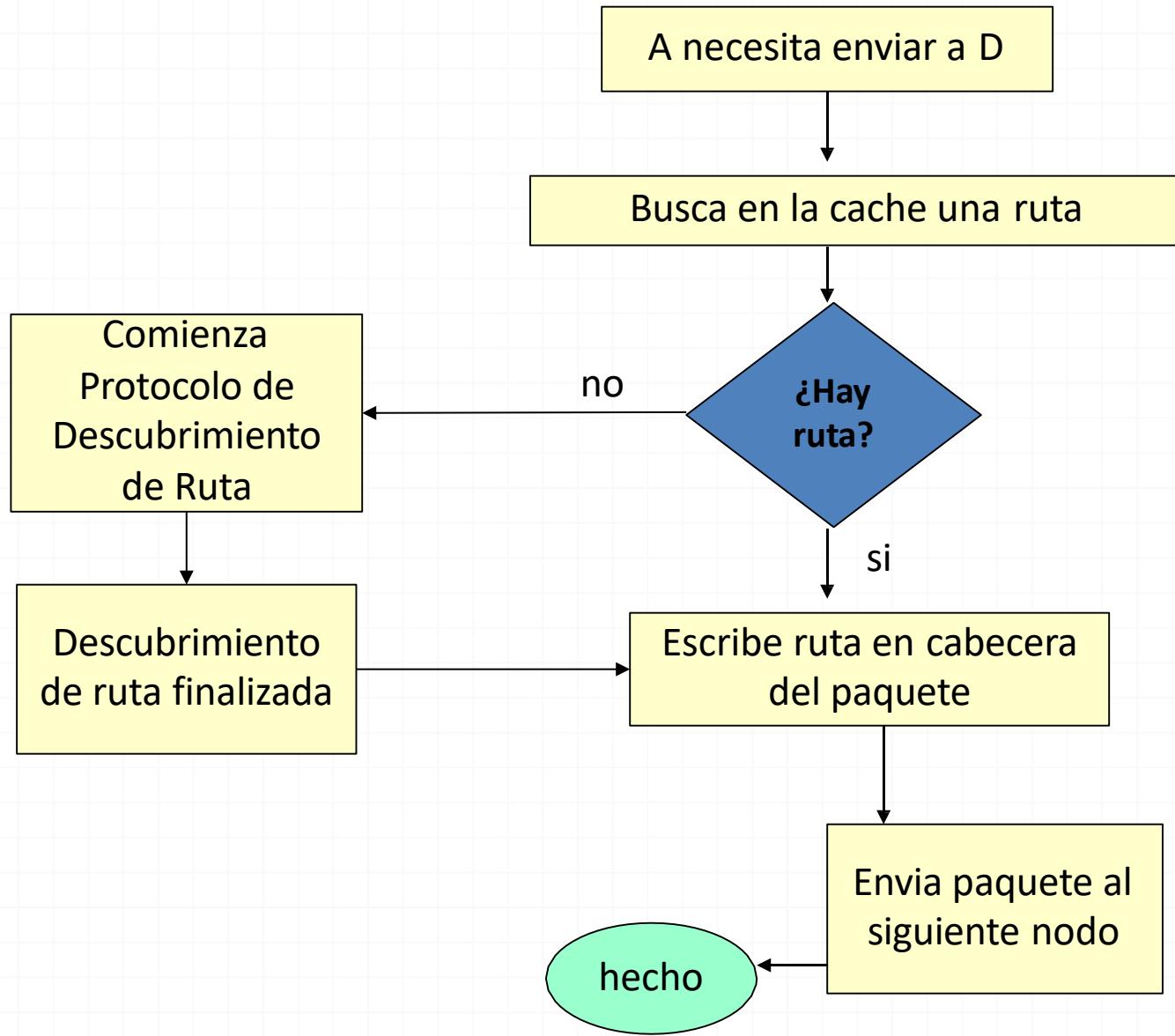


Mantenimiento de ruta

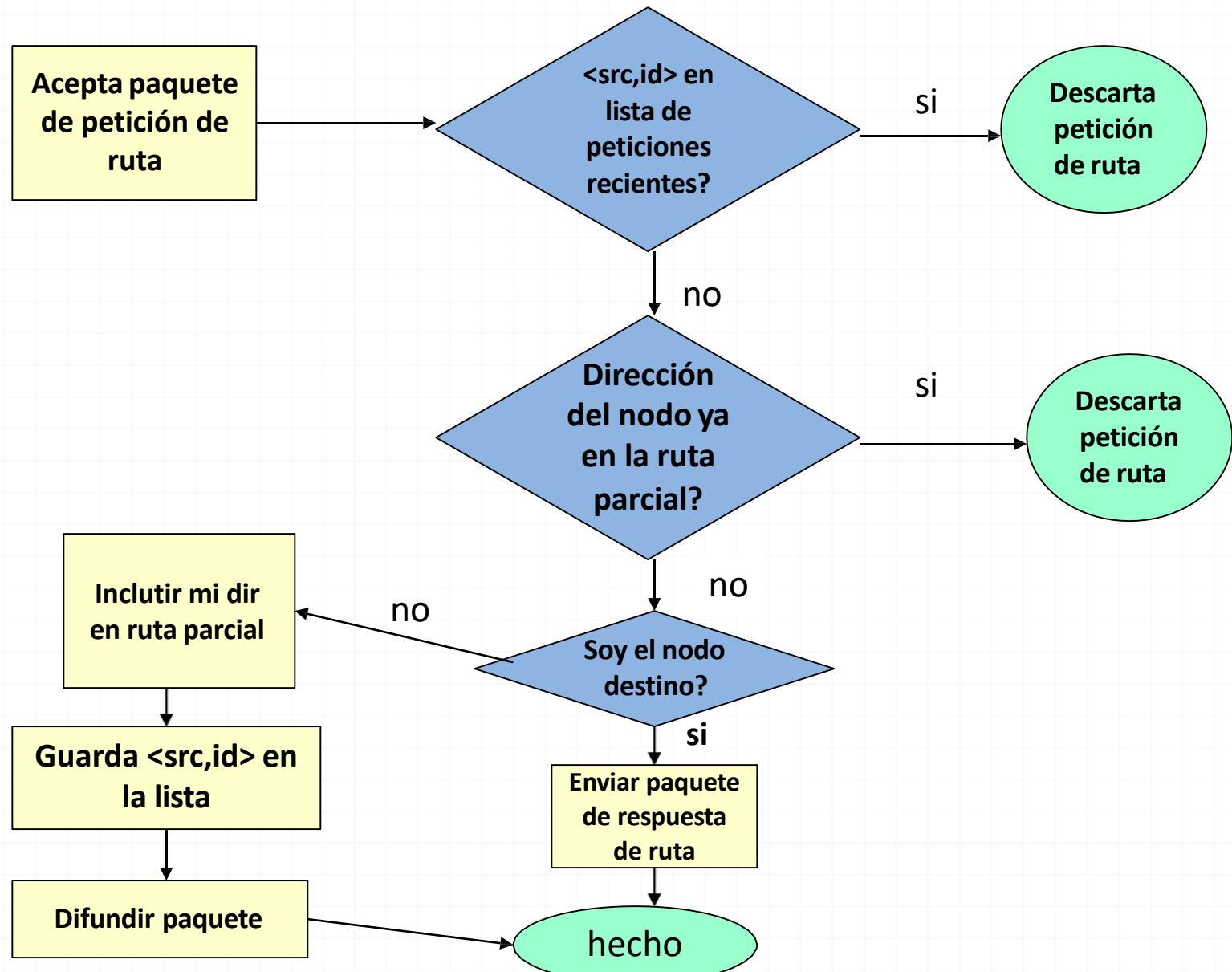
- Si la topología de la red cambia porque dos nodos se mueven y quedan fuera de rango quedando entonces el enlace roto [JD], el nodo fuente S es notificado con un paquete ROUTE ERROR
- Los nodos que escuchan este paquete RERR actualizan su caché eliminado las rutas inválidas
- Se puede usar cualquier otra ruta conocida o llamar al proceso de descubrimiento de Ruta para encontrar una nueva



Descubrimiento de Ruta (en nodo origen)

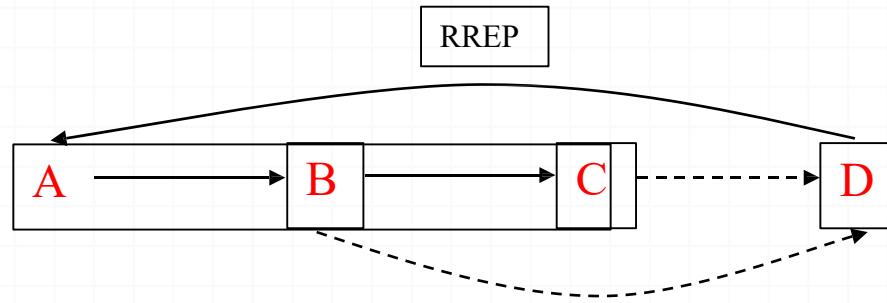


Descubrimiento de Ruta (en nodo intermedio)



Optimizaciones

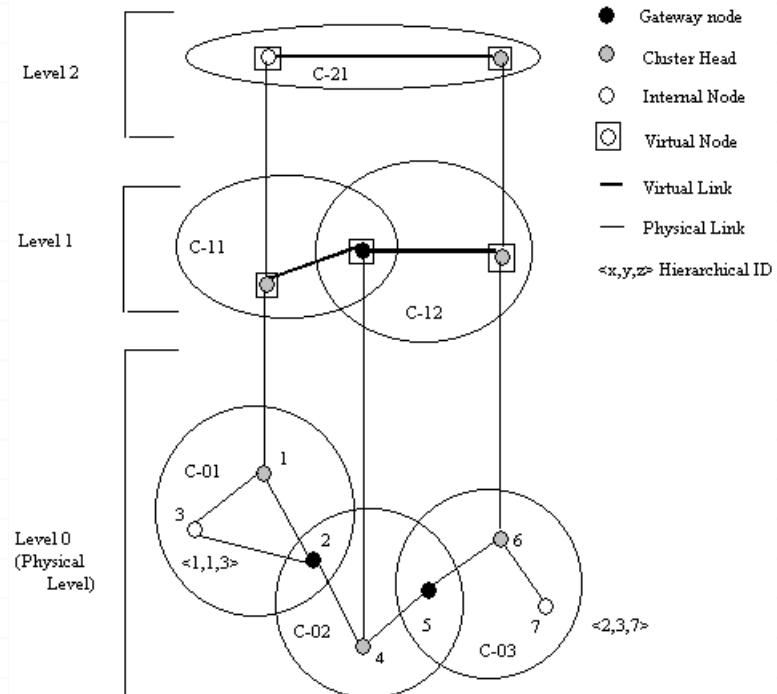
- **Acortamiento Automático de Ruta:** D encuentra que la ruta puede ser acortada excluyendo el nodo intermedio C, así que manda un paquete de respuesta no solicitado a A para informarle de la ruta más corta



- **Salvar paquetes:** ejemplo: Ruta ABCDE. Si DE se cae, D no envía Route Error , sino que busca una ruta alternativa

Hierarchical State Routing (HSR)

- Hace agrupamiento (clustering) multinivel y división lógico de los nodos móviles.
- La red se divide en **clusters**, representado por un **cluster-head**
- Los cluster-head se organizan en clusters
- Dentro de un cluster, la información se difunde.
- El cluster-head **reúne la información y la envía a los miembros del cluster de más alto nivel**
- Cada nodo tiene una **dirección jerárquica**



Bibliografía

- Sarkar, S. K. (2012). *Wireless Sensor and Ad Hoc Networks Under Diversified Network Scenarios*. Artech House.
- Huhtonen, A. (2004, April). Comparing AODV and OLSR routing protocols. In *Seminar on Internetworking, Sjkulla* (pp. 26-27).
- Sarkar, S. K., Basavaraju, T. G., & Puttamadappa, C. (2007). *Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols and applications*. CRC Press.
- Toh, C. K. (2001). *Ad hoc mobile wireless networks: protocols and systems*. Pearson Education.
- Dharma P. Agrawal, Qing-An Zeng, Introduction to Wireless and Mobile Systems
- Tutorial on Mobile Ad Hoc Networks: Routing, MAC and Transport Issues, Nitin Vaidya, <http://disc.ece.illinois.edu/talks.php>