

Exploramos el multicast en Linux

# MUCHO PÚBLICO

Mostramos el lado práctico del multicasting, incluyendo una configuración de ejemplo que hace uso de la suite libre del protocolo de enrutamiento XORP. **POR TOMASZ BARTCZAK, MACIEJ PIECHOWIAK, TOMASZ SZEWCZYK Y PIOTR ZWIERZYKOWSKI**

James Thew, Fotolia.com

Las redes IP son capaces de hacer multicast desde hace casi 20 años, pero sólo ahora la tecnología está siendo usada popularmente. Como su propio nombre indica, el multicasting (*multidifusión*) es una tecnología que sirve para transmitir datos desde una sola fuente a un grupo predefinido de receptores. Este concepto conlleva ciertas dificultades ausentes en otras técnicas de transmisión más convencionales, como el *broadcasting*, en el que el mensaje se envía a todas las máquinas de un segmento de red, o el *unicasting*, donde el mensaje viaja desde un único emisor hasta un único receptor.

El uso eficiente del multicasting puede reducir eficientemente la carga de tráfico, especialmente en redes con soporte para transmisiones multimedia por flujo. Las aplicaciones y tecnologías para multicasting están recibiendo una mayor atención ahora que se está produciendo un auge de las tecnologías audiovisuales; aún con todo, el multicasting sigue siendo un misterio para muchos desarrolladores de software, administradores de sistemas y usuarios finales que podrían beneficiarse de un uso más extendido de esta prometedora tecnología. En este artículo analizamos la parte práctica de las transmisiones

multicast, incluyendo una configuración de ejemplo que hace uso de la suite libre del protocolo de enrutamiento XORP.

## ¿Qué es el Multicasting?

La Figura 1 muestra la idea tras las transmisiones multicast. La fuente A genera un flujo de datos, con una tasa de transferencia de 1Mbps, recogido por tres receptores. La Figura 1a muestra una transmisión unicast entre una fuente y varios receptores. La transmisión tiene como resultado tres flujos de datos idénticos, aunque independientes, por lo que en el enlace entre la

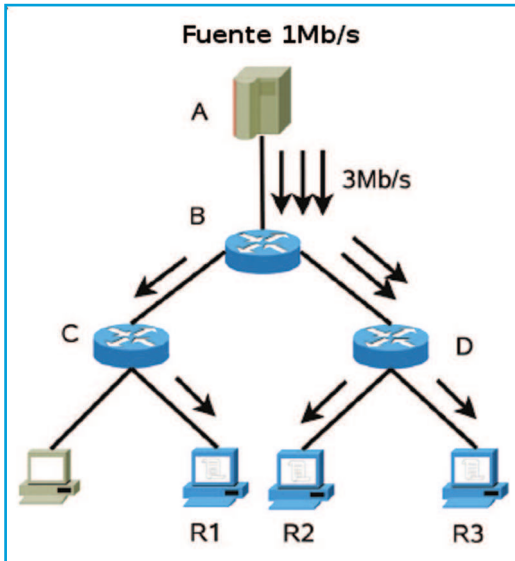


Figura 1a: Transmisión Unicast.

fuentes y las redes de distribución se consume un ancho de banda de 3Mbps. Por el contrario, en un escenario multicast (ver Figura 1b) sólo se necesita un único flujo de datos desde la fuente, siendo la carga en el enlace constante e independiente del número de receptores.

### Capa de Enlace de Datos

La transmisión a nivel de Enlace de Datos se realiza a través de la dirección MAC, que identifica a una interfaz de red del enlace. Las direcciones MAC se asocian a las correspondientes direcciones IP con la ayuda de los protocolos ARP (*address resolution protocol*) y RARP (*reverse ARP*). Por ejemplo, si el router B desea enviar datos al router D, primero envía una petición ARP para la dirección IP de D. Como consecuencia, D envía una respuesta ARP que con-

tiene su dirección MAC. Una vez finalizado este proceso, B y D pueden comunicarse a través del medio de transmisión Ethernet. En el caso del multicasting, la pregunta radica en cómo conseguir el efecto del direccionamiento del Enlace de Datos sin incurrir en la sobrecarga producida al tener que resolver una dirección IP a un conjunto complejo de direcciones MAC receptoras.

Este problema en particular se resuelve asociando una dirección IP multicast a una dirección

MAC única usada por todos los receptores. Una dirección MAC ethernet está compuesta por 48 bits. Las direcciones Ethernet que comienzan por 01.00.5E son las asignadas a la IANA (*Internet Assigned Number Authority*), la organización responsable de gestionar los distintos rangos de direcciones IP. IANA decidió reservar la mitad del rango de direcciones Ethernet para transmisiones multicast. Como resultado, 23 de los bits que componen las direcciones MAC se pueden usar para comunicaciones en grupo.

Una dirección IP, sin embargo, consta de 32 bits, lo que significa que 32 bits de la dirección IP deben ir asociados a 23 bits de la dirección MAC. Todas las direcciones IP de la Clase D están reservadas para transmisiones de tipo multicast. Las direcciones IP de Clase D

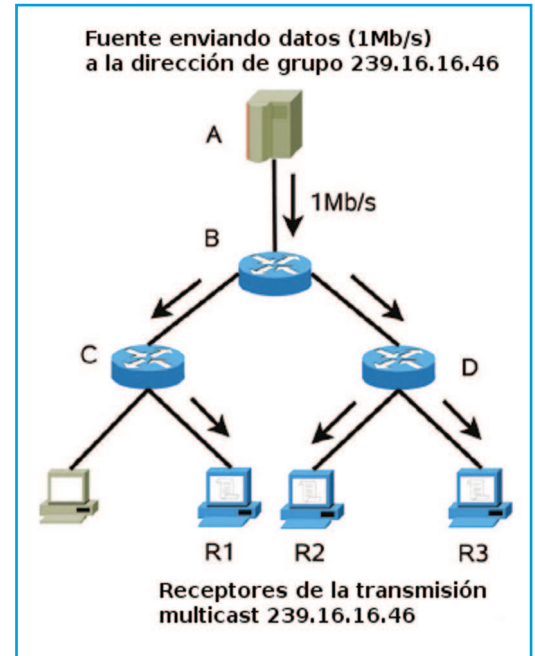


Figura 1b: Transmisión multicast.

comienzan con la secuencia de bits 1110. Debido a que este patrón es constante en todas las direcciones de multicast, no necesita formar parte del mapeado. Por tanto, sólo 28 bits de la dirección IP están asociados a 23 bits de la dirección MAC. La Figura 2 ilustra el funcionamiento del proceso de asociación.

Como se puede apreciar en la Figura 2, después de descartar los 4 primeros bits, los siguientes 5 bits más significativos se ignoran. Los 23 bits restantes se asocian directamente a la dirección MAC. Esta asociación entre IPs y direcciones MAC multicast no deja de ser ambigua; la relación entre las direcciones IP y MAC no es de uno-a-uno. Por tanto, las direcciones de un grupo de 25 IPs comparten dirección MAC.

Vamos a explicar el proceso con un ejemplo sencillo. Supongamos que hay una dirección multicast 239.16.16.46, con la siguiente representación binaria: 11101111.00010000.00010000.00101110.

Descartamos los 4 bits más significativos (la secuencia indicativa de que se trata de una dirección de Clase D) y nos quedamos con la siguiente secuencia: 1111.00010000.00010000.00101110.

Si se omiten los 5 bits siguientes, quedando 0010000.00010000.00101110, y se combina esta secuencia de bits con la secuencia asignada por la IANA para transmisiones multicast, podemos obtener la dirección MAC

### Creando un Árbol

Para recibir transmisiones multicast, los receptores envían una petición de recepción al router. Esta petición viaja a través de IGMP (*Internet Group Management Protocol*) o, para ser más precisos, con la ayuda de un mensaje *IGMP Report*. El router, tras recibir la petición, envía un paquete *Join* del protocolo *PIM-SIM* al resto de routers de la ruta.

Los routers son por tanto responsables de la creación del árbol de transmisiones multicast para la comunicación de datos de grupo entre receptores y fuente. En teoría, ni siquiera se necesita un protocolo de enrutamiento dinámico para crear el árbol de transmisiones. El programa *smcroute* (el homólogo de la aplicación *route* de las transmisiones uni-

cast) nos permite configurar manualmente los routers multicast. Como en el caso de las transmisiones unicast, la configuración manual suele llevar a errores y es más problemática cuando se producen cambios en la configuración de la red. Es más, los árboles de transmisiones multicast se suelen crear para períodos de tiempo relativamente cortos (por ejemplo, la transmisión de un vídeo de dos horas de duración). Esto, en la práctica, excluye la posibilidad de crear manualmente el árbol de transmisiones en situaciones reales. La única posibilidad real de implementar un grupo de transmisiones a un nivel práctico es a través de protocolo de enrutamiento multicast.

01.00.5E.10.10.2E a partir de la dirección IP 239.16.16.46.

### ¿Cómo Funciona?

Cuando una aplicación solicita la recepción de una transmisión multicast, el subsistema de red del kernel calcula la correspondiente dirección MAC. Esta dirección se añade entonces a la lista de direcciones multicast recibidas; finalmente, el kernel llama a `set_multicast_list`, de la estructura `net_device`. La función `set_multicast_list` realiza ciertas tareas relacionadas específicamente con el hardware a nivel de driver, a fin de que la tarjeta de red sea capaz de recibir los paquetes enviados a esta dirección MAC en concreto.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de transmisión multicast que tiene lugar entre dos sistemas conectados a un mismo segmento de red ethernet. La aplicación de la máquina A transmite los datos a la dirección multicast 239.16.16.46 (paso 1a de la Figura 3). La aplicación pasa los datos, junto con la dirección de destino, al kernel. El kernel calcula entonces la dirección MAC correspondiente para esta dirección IP.

Al otro lado, la aplicación de la máquina B informa al kernel Linux de que está interesada en recibir una transmisión multicast enviada a la dirección IP 239.16.16.46 (paso 1b de la Figura 3). El kernel calcula la dirección MAC que corresponde a esa dirección IP (2b) e informa a la tarjeta de red de que debe recibir los paquetes enviados a esa dirección MAC (3b). Una vez recibido el paquete de datos (4b), la tarjeta de red que está instalada en la máquina B genera una interrupción y se llama al método responsable del manejo de interrupciones (5b). Este método le pasa los datos recibidos al kernel (6b), quien en última instancia se los entrega a la aplicación (7b).

### Protocolos de Enrutado para Multicasting

El multicasting es tan eficiente que cabe preguntarse por qué no lo usa todo el mundo ya. El problema radica en que es necesario incluir funcionalidades adicionales a la red de transmisión que garanticen un servicio apropiado, así como la replicación de un flujo único de datos a través de una

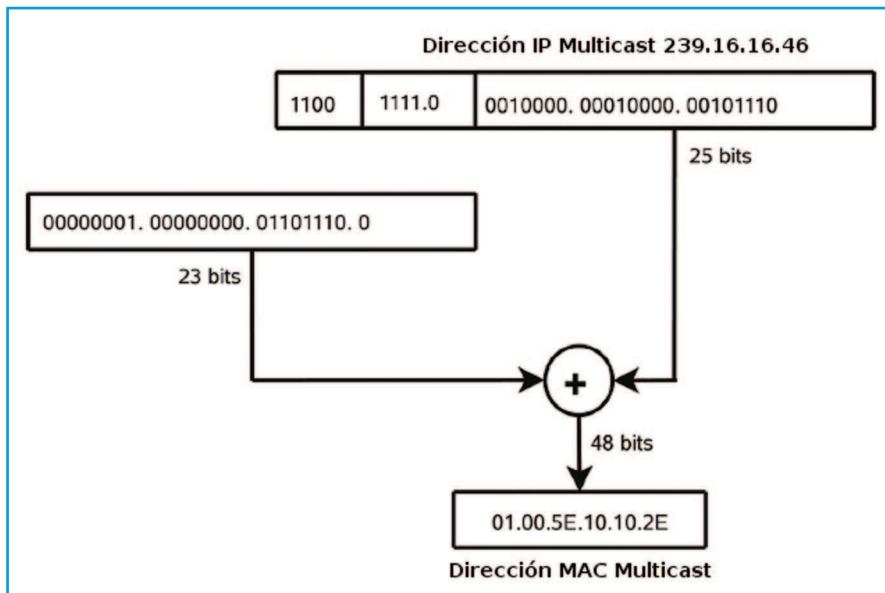


Figura 2: Asociando una dirección IP multicast a una dirección MAC.

gran red enrutada. Pasar los datos de manera eficiente a través de una cadena de routers requiere un nuevo tipo de protocolos de uso específico para enrutamientos multicast. Por desgracia, estos protocolos son bastante complejos y, por tanto, no los suelen implementar los proveedores de Internet.

Un protocolo de enrutamiento multicast debe soportar la posibilidad de redirigir un único paquete hacia varias interfaces. Actualmente, el protocolo de enrutamiento multicast más popular es PIM-SM (*Protocol-Independent Multicast-Sparse Mode*). La principal tarea del protocolo PIM-SM consiste en crear un árbol de distribución multicast que lleve los paquetes multicast desde los emisores hasta los receptores. En la transmisión multicast, PIM-SM mantiene una tabla de enrutamiento independiente, llamada MFC (*Multicast Forwarding Cache*).

PIM-SM usa además una tabla de enrutamiento unicast para proporcionar un entorno de redirecciones libres

de bucles para las entregas multicast. Por todo esto, para garantizar el correcto funcionamiento del protocolo PIM-SM, es necesario además configurar las tablas de enrutamiento unicast en las máquinas implicadas en la transmisión multicast.

El protocolo PIM-SM usa el concepto de punto de reunión para la gestión de la comunicación multicast. El punto de reunión es un router que recibe peticiones de transmisión hechas por potenciales receptores. Las fuentes de la transmisión envían sus datos al punto de reunión. PIM-SM puede asignar el rol de punto de reunión dinámicamente, o puede asignarlo el usuario directamente mediante configuraciones.

### Configuración del Enrutado para Multicasting

XORP es una suite libre para enrutamientos que incluye una implementación excepcional del protocolo PIM-SM [1]. Con sólo echar un rápido vistazo

```

Listado 1: Configuración de las Interfaces de Red
01 >configure
02 # set interfaces interface eth0 vif eth0 address 192.168.2.1
    prefix-length 24
03 # set interfaces interface eth1 vif eth1 address 192.168.3.2
    prefix-length 24
04 # set interfaces interface eth0 vif eth0 disable false
05 # set interfaces interface eth1 vif eth1 disable false
06 # commit
    
```



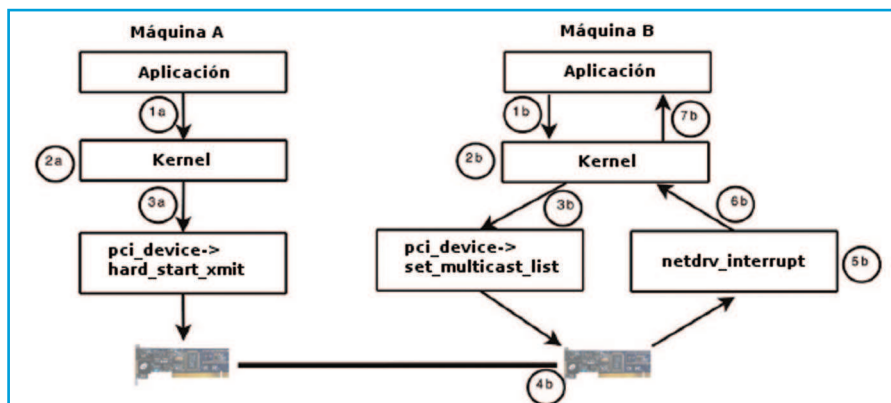


Figura 3: Esquema de transmisión multicast.

al enrutamiento multicasting, ya deberíamos tener una idea sobre por dónde empezar con nuestros experimentos.

En primer lugar, descargamos el código fuente desde el sitio web del proyecto [2] y lo instalamos del siguiente modo:

```
tar xzf xorp-$VERSION.tar.gz
./configure
make
make check
make install
```

Se supone que los módulos necesarios para dar servicio a las tarjetas de red ya están cargados o compilados en el kernel, y también que la red no ha sido configurada en modo alguno (antes de comenzar con la configuración, se deben desactivar las herramientas de red como *NetworkManager*).

El primer paso consiste en ejecutar, mediante el comando *xorps*, el programa que configura la aplicación XORP (los ejecutables de la aplicación XORP se encuentran bajo */usr/local/xorp/bin*). Debido a que XORP afecta significativamente al funcionamiento del sistema, ofrece dos modos de operación: básico y ampliado. Para trabajar en el modo ampliado, el usuario que arranca el programa debe pertenecer al grupo *xorp*.

Para configurar la red y el protocolo PIM-SM, es necesario realizar los siguientes pasos:

- Activar las interfaces de red y asignar las direcciones IP.
- Configurar el enrutamiento unicast.
- Habilitar la redirección de paquetes de tipo multicast.
- Habilitar el protocolo PIM-SM.

- Habilitar IGMP en los routers que están en contacto directo con el grupo de receptores de la red.

La interfaz de gestión de XORP es parecida a los dispositivos creados por *Juniper*. En el Listado 1 se muestra la configuración hecha para las interfaces de red.

Con el primero de los comandos del Listado 1 se entra en modo ampliado, en el que es posible realizar cambios en el dispositivo. Los dos siguientes

comandos son los responsables de la configuración de las interfaces de red. Como puede apreciarse, la sintaxis de estos comandos es muy simple y no requiere de explicaciones adicionales. Durante los pasos siguientes, se activan las interfaces. El último comando es *commit*, que lleva a la ejecución de todos los comandos anteriores.

### Habilitando Unicast

Como se indicaba más arriba, el protocolo PIM-SM hace uso de una tabla de enrutamientos unicast para determinar a dónde enviar los mensajes *Join*. Las tablas de enrutamiento de los routers individuales se pueden configurar manualmente mediante los comandos *route* e *ip*. Este método no deja de ser problemático y propenso a que se produzcan errores, debido a que se requiere la intervención del administrador cada vez que se va a realizar alguna modificación sobre la configuración.

Los protocolos de enrutamiento dinámico permiten determinar automá-

### Listado 2: Configuración de OSPF

```
01 # set protocols ospf4 router-id 192.168.2.1
02 # set protocols ospf4 area 192.168.0.0 interface eth0 vif eth0
   address 192.168.2.1
03 # set protocols ospf4 area 192.168.0.0 interface eth0 vif eth0
   disable false
04 # set protocols ospf4 area 192.168.0.0 interface eth1 vif eth1
   address 192.168.3.2
05 # set protocols ospf4 area 192.168.0.0 interface eth1 vif eth1
   disable false
06 # commit
```

### Listado 3: Habilitando Transmisiones Multicast

```
01 # set plumbing mfea4 disable false
02 # set plumbing mfea4 interface eth0 vif eth0 disable fasle
03 # set plumbing mfea4 interface eth1 vif eth1 disable fasle
04 # set plumbing mfea4 interface register_vif vif register_vif
   disable fasle
05 # commit
```

### Listado 4: Configuración de PIM-SM

```
01 # set protocols pimsm4 interface eth0 vif eth0 disable false
02 # set protocols pimsm4 interface eth1 vif eth1 disable false
03 # set protocols pimsm4 interface register_vif vif register_vif
   disable false
04 # set protocols pimsm4 static-rps rp 192.168.3.1 group-prefix
   224.0.0.0/4
05 # commit
```

ticamente las tablas de enrutamiento. Un protocolo dinámico comúnmente soportado por XORP es OSPF (*Open Shortest Path First*). Una explicación completa sobre los protocolos de enrutamiento unicast estaría fuera del ámbito de este artículo; de todos modos, los pasos mostrados en el Listado 2 ilustran la forma de configurar el enrutamiento unicast con OSPF.

Además, debemos activar la redirección de datos unicast mediante:

```
# set fea unicast-forwarding4
# commit
```

### Habilitando Multicast

El Listado 3 muestra los pasos necesarios para la activación de las transmisiones multicast. De aquí se desprende que el multicasting se habilita en interfaces individuales, así como para la interfaz unicast.

El último paso de la configuración consiste en habilitar el protocolo PIM-SM. Comenzamos cargando el demonio responsable de dicho protocolo:

```
# set protocols pimsm4
disable false
# commit
```

El comando `#commit` se ejecutará con un pequeño retardo debido a la inicialización del proceso responsable del servicio del protocolo de enrutamiento multicast.

Los siguientes comandos, presentados en el Listado 4, sirven para configurar el protocolo PIM-SM.

Con estos comandos del Listado 4 activamos el servicio del protocolo PIM-SM en interfaces individuales, así como en la interfaz virtual `register_vif`, usada para transferir datos a través de un túnel unicast desde la fuente hasta el punto de reunión. Además de esto, se asigna la dirección del punto de reunión, que en este caso es 192.168.3.1. El valor `group-prefix` indica el rango de direcciones multicast servidas por un punto de reunión determinado.

### Habilitando IGMP

La configuración presentada hasta ahora impide la transferencia de datos desde la fuente hacia receptores específicos. Los receptores deben informar a los routers de que están interesados en

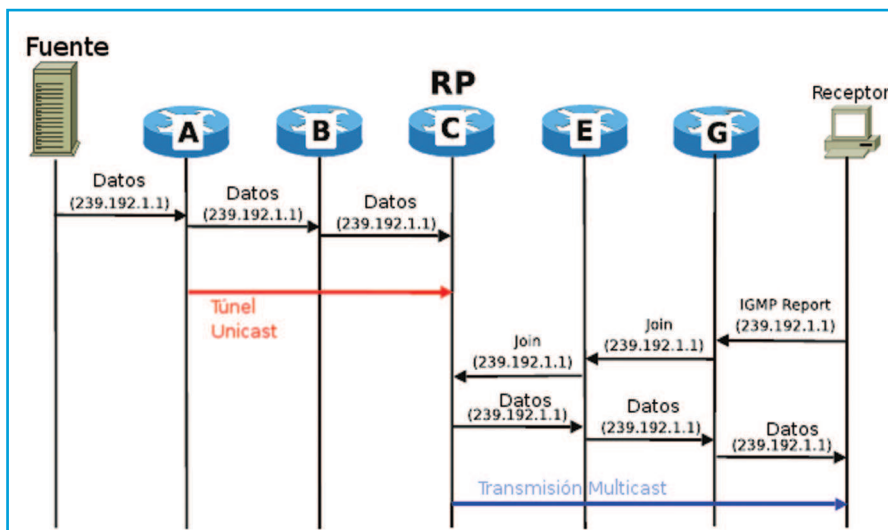


Figura 4: Iniciando una transmisión multicast.

recibir transmisiones multicast. Como describimos anteriormente, esta información viaja a través de la red mediante IGMP, por lo que se debe configurar IGMP en todos los routers que tengan receptores locales.

Puede que en este momento muchos se estén preguntando por qué es necesario configurar IGMP a través de XORP si el kernel ya soporta IGMP.

El problema es que la implementación de IGMP incluida en el kernel no proporciona IGMP en el lado del servidor, lo que supone que la información contenida en los paquetes IGMP no llegue hasta el protocolo de enrutamiento multicast.

Al igual que ocurre con PIM-SM O OSPF, la configuración de IGMP requiere la activación del demonio responsable del servicio del protocolo:

```
# set protocols igmp
disable false
# commit
```

Además, hemos de indicar las interfaces servidas por IGMP:

```
# set protocols igmp
interface eth2 vif eth2
disable false
# commit
```

### Uniando las Piezas

En la Figura 4 se ilustra la transacción completa. Como se puede apreciar, la máquina de la izquierda comienza enviando una secuencia de vídeo a la dirección 239.192.1.1. El router A,

conectado directamente a la fuente, comienza a enviar datos al punto de reunión a través de un túnel unicast. La aplicación del extremo receptor genera un mensaje *IGMP Report*. Este mensaje es procesado por el router, a lo que sigue un mensaje *Join* del protocolo PIM-SM enviado hacia el router C, que actúa como punto de reunión RP. Al recibir el mensaje, el router C envía la transmisión multicast en dirección al receptor en cuestión, más todos los receptores del mismo grupo de recepción multicast.

### Conclusión

El multicasting es un tema complejo del que presentamos aquí sólo los conceptos más básicos. Aún así, esta breve introducción debería ser suficiente para empezar a decidir la mejor manera de implementar el multicasting en un entorno determinado.

**RECURSOS**

[1] XORP: <http://www.xorp.org/>  
 [2] Descarga de XORP: <http://www.xorp.org/downloads.html>

**EL AUTOR**

Durante los últimos años, los autores, Tomasz Bartczak, Maciej Piechowiak, Tomasz Szewczyk y Piotr Zwierzykowski han estado trabajando con tecnologías de red y sistemas operativos Unix/Linux. Además, su interés abarca actividades de investigación centradas en algoritmos de multicasting y optimización de protocolos.