Práctica 2: Fragmentación y reensamblado en IP

Para esta práctica debes arrancar en la partición de linux"Ubuntu".
Utiliza para el acceso el nombre de usuario y la contraseña de tu cuenta de la UPV

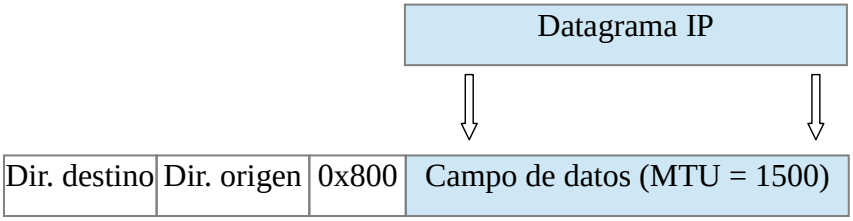
Lectura previa: Kurose 4.4.1 ***subapartado "Fragmentación del datagrama IP"***

1. Introducción

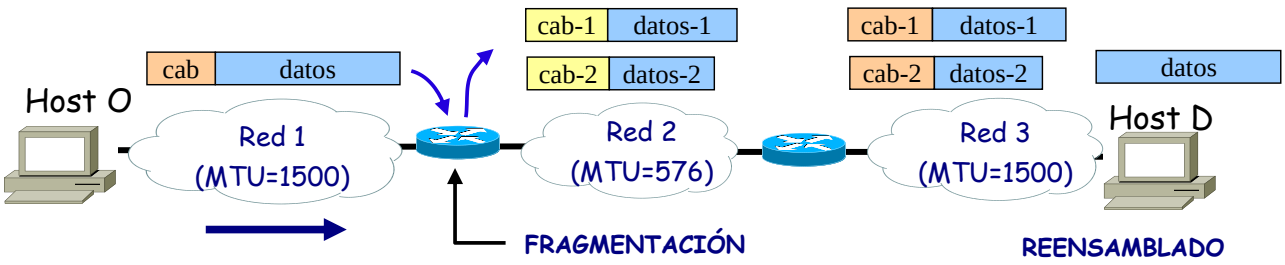
En esta práctica vamos a estudiar el problema de la fragmentación de datagramas IPv4.

Como ya hemos visto en clase, el tamaño máximo de un datagrama IP es de 64 KB, pero es más bien un valor máximo teórico y en la práctica suelen enviarse datagramas más pequeños.

Antes de transmitirse, el datagrama se encapsula en una trama, ocupando el campo de datos de la misma. Por lo tanto, el tamaño del datagrama estará limitado por el tamaño máximo del campo de datos de la trama que lo va a llevar. Este valor depende de la tecnología de red que se utilice. La mayoría de las tecnologías definen tamaños máximos, también conocidos como MTUs (*Maximum Transfer Unit*). Así, por ejemplo, Ethernet define una MTU de 1.500 bytes, PPPoE de 1.492 bytes o FDDI de 4.470 bytes.



Cuando se emplea TCP, el tamaño inicial del segmento TCP ya se elige de forma que el datagrama IP resultante quepa en el campo de datos de la trama en la que se va a encapsular. Desgraciadamente, incluso con esta precaución, el datagrama puede necesitar fragmentarse en trozos más pequeños si en su tránsito hacia el destino tiene que atravesar una red con una MTU menor que el original. El router que separa las dos redes se encargará de esta tarea, antes de reenviar el datagrama a la red de salida. Posteriormente, el host destino tendrá que reensamblar el datagrama original una vez recibidos todos los fragmentos.

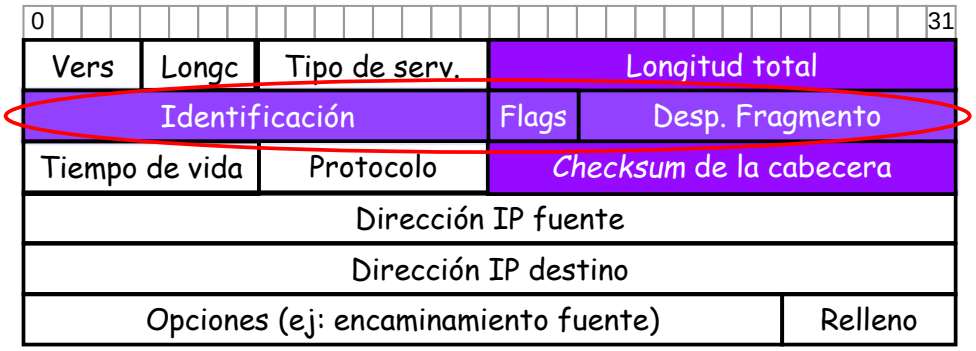


Cuando se emplean otros protocolos distintos de TCP, como UDP o ICMP, el problema de la fragmentación puede incluso plantearse en el propio host origen, ya que UDP o ICMP no tienen en cuenta la MTU a la hora de generar sus unidades de datos.

Las implementaciones de IP no están obligadas a manejar datagramas sin fragmentar mayores de 576 bytes, aunque la mayoría podrá manipular valores mayores, que suelen estar por encima de 8192 bytes o incluso superiores, y de forma ocasional menores de 1500.

2. Fragmentación en IPv4

Solo algunos de los campos de la cabecera del datagrama intervienen en el proceso de fragmentación. Son los que aparecen coloreados en el siguiente esquema de la cabecera:



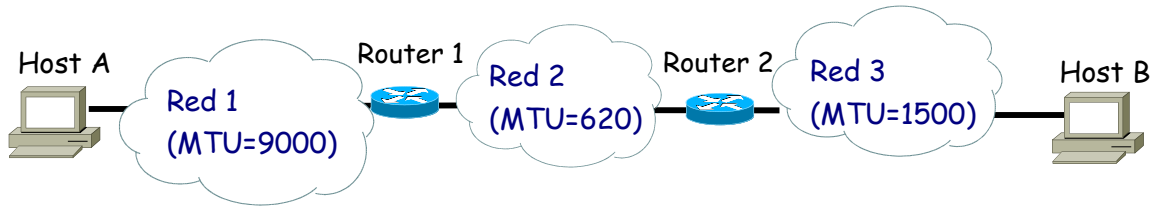
- El campo de **longitud total**, que define el tamaño total del datagrama (cabecera + datos) en bytes, pasa a indicar el tamaño del fragmento.
- El campo de **identificación** es un entero de 16 bits que identifica de forma única al datagrama original. Permite identificar a los fragmentos que pertenecen al mismo datagrama, dado que todos los fragmentos de un datagrama heredan el identificador del datagrama original.
- Flags: 3 bits (pero el de más peso no se emplea). Se utilizan sólo para especificar valores relativos a la fragmentación de paquetes:
  - Do not Fragment (**DF**): Indica que el datagrama no debe fragmentarse.
  - More Fragments (**MF**): Si está activado indica que este fragmento no es el último de la serie. Se utiliza en el destino final del datagrama durante el reensamblado.
- **Desplazamiento** del fragmento: Es un campo de 13 bits. Indica la posición del fragmento dentro del datagrama original en múltiplos de 8 bytes, es decir referido a bloques de 64 bits. El primer fragmento será el de desplazamiento cero (y bit MF=1).
- ***Checksum*** de la cabecera: Tiene la finalidad de proteger frente a posibles errores en la cabecera del datagrama. Se recalcula cada vez que algún nodo cambia alguno de sus campos (por ejemplo, el tiempo de vida).

Puede ser necesario volver a fragmentar un datagrama ya fragmentado. En ese caso, todos los fragmentos tienen el mismo nivel y el desplazamiento se refiere al datagrama original.

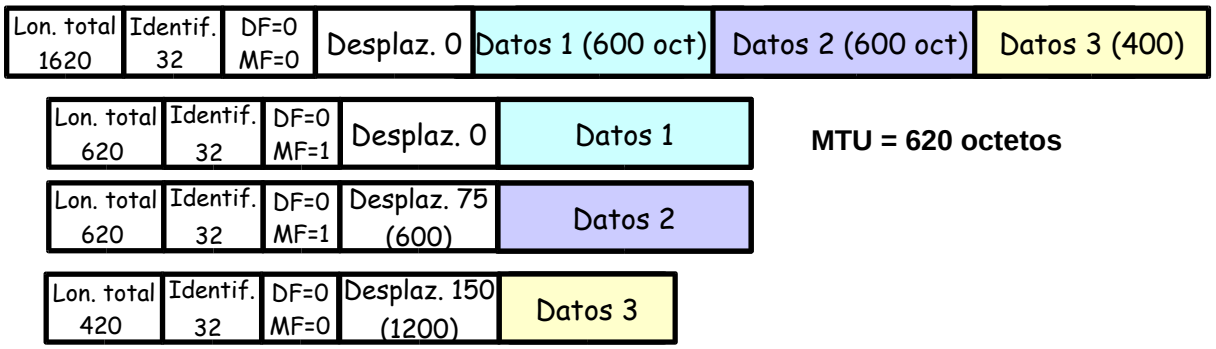
El reensamblado se realiza siempre en el receptor, y requiere recibir todos los fragmentos del datagrama en un tiempo acotado, antes de que venza un temporizador. El temporizador se inicia al recibir el primer fragmento del datagrama (el que llega primero, aunque no sea el de desplazamiento cero). Si el temporizador vence se descartan los fragmentos ya recibidos. En caso necesario, si el protocolo de nivel superior, por ejemplo TCP, solicita una retransmisión habrá que volver a enviar el datagrama completo de nuevo.

Ejemplo de fragmentación

Dada la red del esquema siguiente, el host A envía un datagrama de longitud total 1620 bytes al host B. Dado que el datagrama tiene una longitud mayor de 620 bytes (MTU de la red 2), cuando el router 1 lo reenvíe se verá obligado a fragmentarlo.



El datagrama original y los fragmentos son los siguientes:



A la hora de calcular la cantidad de datos IP que caben en una trama hay que tener en cuenta:

a) Que la cabecera IP ocupa 20 bytes, si como es habitual no lleva opciones. El resto de la MTU, en este caso 620 – 20 = 600, es lo que queda disponible para los datos IP. En nuestro ejemplo, el datagrama original llevaba 1.600 bytes de datos IP que tendrán que ser distribuidos en fragmentos que **como máximo** lleven 600 bytes de datos IP, si la condición analizada en el apartado b) lo permite.

b) La cantidad de datos que se incluye en cada fragmento exceptuando el último debe ser divisible entre 8, debido a la forma en que se expresa el desplazamiento del fragmento. En este caso, 600 ÷ 8 = 75, dado que 600 es divisible entre 8, todo cuadra perfectamente. Además, el desplazamiento, que será múltiplo de 600 en los diferentes fragmentos, realmente aparecerá en la cabecera IP de los fragmentos

expresado en múltiplos de 75 dado que el campo desplazamiento tiene 13 bits de longitud y esto obliga a expresar los desplazamientos en múltiplos de 8 bytes.

Cabe destacar que cuando se usan otros tamaños típicos de MTU, como 576, no todo cuadra tan bien. En este caso tenemos que 576 – 20 = 556, 556 ÷ 8 = 69.5. Dado que 556 no es divisible entre 8, en este caso sólo se podrían aprovechar 552 de los 556 bytes disponibles en la MTU, para que la división dé un valor exacto. En el caso de una secuencia de fragmentos, el desplazamiento real sería múltiplo de 552 pero aparecería expresado en el campo de desplazamiento en múltiplos de 69.

Ejercicio 1.

Un router recibe un datagrama de 3500 bytes. La red de salida en la que debe transmitirlo para que llegue a su destino tiene una MTU de 1500 bytes, por lo que el router debe fragmentar el datagrama.

Calcula el número de fragmentos que se generarán y el tamaño de cada fragmento. Incluye en tu respuesta los cálculos realizados.
Indica el valor que tiene el campo desplazamiento de la cabecera IP en cada uno de los fragmentos generados (Recuerda que el tamaño del campo de datos de todos los fragmentos exceptuando el último fragmento debe ser un valor divisible por 8).

Completa la tabla siguiente con los valores obtenidos.

Número de Fragmentos	*Longitud total/fragmento*	*Desplazamiento*	*Bit MF*
3500-20B/1500B =2.32 Por lo que serían 3 fragmentos.	Fragmento 1: 1480+20B =1500B Fragmento 2: 1480+20B =1500B Fragmento 3: 520+20B =540B	Fragmento 1: =0 Fragmento 2: (1500-20)/8 =185 Fragmento 3: (1500-20)/8 =370	Frag1: 1 Frag2: 1 Frag3: 0

3. Análisis de tráfico

No podemos observar directamente en el laboratorio la fragmentación que se produce en los routers, pero podemos utilizar un pequeño truco para generar fragmentación en nuestro propio equipo de prácticas.

Como hemos comentado en la introducción, los protocolos ICMP y UDP no tienen en cuenta el tamaño de la MTU local a la hora de generar sus unidades de datos: paquetes ICMP o datagramas UDP, respectivamente. Muchos sistemas operativos como Linux, Microsoft Windows o MAC OS nos proporcionan una orden llamada “ping” que nos permite enviar a un destino paquetes ICMP de eco con la cantidad de datos ICMP que especifiquemos, y esperar la respuesta asociada.

Si el tamaño total del paquete ICMP (cabecera y campo de datos) que se va a enviar más el tamaño de la cabecera IP exceden la MTU local, la capa IP de nuestro host se verá obligada a fragmentar el datagrama que contiene el paquete ICMP.

Ejercicio 2.

Vamos a preparar una captura de tráfico con el programa wireshark. Para ello abre el wireshark y aplica un flitro para ver únicamente el tráfico icmp enviado o recibido por tu computador:

Capture→Options→Capture filter for selected interfaces: ***icmp and host 158.42.180.xx***

Para tu ordenador de prácticas debes sustituir xx por el número de host indicado en la etiqueta que tiene cada puesto de trabajo.

A continuación, abre un shell y teclea:

```
> ping -c 1 -s 3972 zoltar.redes.upv.es
```

Y una vez terminado el ping detén la captura de paquetes del wireshark.

La opción -c es para que se envíe un único paquete, ya que, por defecto, como se verá en la práctica donde se estudia con detalle el protocolo ICMP, la orden ping en Linux envía paquetes de forma ininterrumpida. La opción -s indica el tamaño del campo de datos ICMP (el paquete ICMP también tendrá una cabecera).

Como estamos conectados a una red Ethernet, un envío con -s 3972 exigirá la fragmentación del paquete en varios paquetes IP.

(3972+8(cabecera icmp)+20(cabecera ip))

a) Para el datagrama enviado por tu ordenador, compara las cabeceras de los fragmentos generados, fijándote especialmente en los campos **longitud total**, **flags** y **desplazamiento del fragmento (***fragment offset* en la captura de wireshark**)**. Para ello ayúdate de la tabla siguiente, donde puedes anotar los valores de estos campos.

Identificador Fragmento	*Flag DF*	*Flag MF*	*Desplazamiento*	*Longitud total*
f9af	0	1	0	1500 (1480+20)
f9af	0	1	1480	1500 (1480+20)
f9af	0	0	1480	1040 (3972-1480-1480+8+20)

Siempre: Solo uno de los fragmentos lleva la cabecera ICMP, y es el último.

b) ¿Cuál es el valor del campo protocolo de la cabecera de los tres fragmentos? ¿Debe ser el mismo para todos los fragmentos?

El campo protocolo de la cabecera IP de los dos primeros fragmentos es: IPv4 y del tercero es: ICMP. Solo uno de los fragmentos lleva la cabecera ICMP, y es el último, ya que el último fragmento es el que lleva la cabecera del protocolo del paquete original.

c) ¿Cuál es el valor del campo desplazamiento enviado en la cabecera IP del segundo fragmento? Wireshark muestra el valor del desplazamiento ya calculado, no el que realmente se envía. Comprueba en la pestaña inferior que muestra los bytes enviados en hexadecimal cuál ha sido el valor realmente enviado. Recuerda que el tamaño del campo de desplazamiento es de 13 bits.

El valor es de 1480, se debería enviar 1480/8 = 185, 0x20b9 bytes enviados en hexadecimal, que incluyen la flag y el desplazamiento.
20b9 -> 0010 0000 1011 1001
-> Flags: 001
-> Desplazamiento: 0 0000 1011 1001 -> 0xb9 -> 185

d) Calcula el tamaño del mensaje que deberíamos enviar para que se generaran cuatro fragmentos de tamaño máximo. Para este cálculo hay que tener en cuenta cuánto ocupa la cabecera ICMP. La longitud de la cabecera ICMP hay que calcularla viendo cuánto ocupa cada uno de sus campos en la pestaña inferior de la captura.

Comprueba que dicho tamaño de mensaje es correcto capturando el tráfico generado tras ejecutar nuevamente la orden **`ping`** sustituyendo 3972 por el tamaño de mensaje calculado.

Se deberá modificar por un mensaje de 4432.
Ya que con 3972 el primer fragmento ocupó: 1480 de datos y cabecera 20. Y hay que tomar en cuenta los 8B de cabecera ICMP. 1480x3 - 8(ya que la orden ping no incluye en el parametro de tamaño del paquete la cabecera ICMP que son 8B que tenemos que tomar en cuenta nosotros para calculo de total length)

e) ¿Cuántos bytes de datos IP viajan en cada paquete? ¿Y de datos ICMP? Para el cálculo puedes ayudarte de las cabeceras “Header Length” y “Total Length” del datagrama IP.

En cada paquete viajan 1480B de datos IP y de datos ICMP en los dos primeros serán 1480B, ya que no se incluye su cabecera y en el tercero como si se incluye serán 1480-8B = 1472B

Ejercicio 3.

Las MTUs de las redes 1 y 2 son 4500 y 800 respectivamente. En el computador B de la red 2 se han recibido los siguientes datagramas IP. El emisor de dichos datagramas es el computador A de la red 1.

Campos de la cabecera IP				
Longitud total	***Identificador***	***DF***	***MF***	***Desplazamiento***
796	16	0	0	194
40	28	0	0	194
796	16	0	1	0
796	28	0	1	0
780	63	0	0	0
796	16	0	1	97
796	95	0	1	291
796	28	0	1	97
54	95	0	0	388

a) ¿Tienen alguna relación entre sí los distintos datagramas recibidos? Justifica la respuesta.

Si, se aprecia que recibimos 9 fragmentos que tienen 4 identificadores similares, lo que significa que 4 paquetes habran sido fragmentados y recibimos 9, excepto el del identificador 63 que no ha sido fragmentado.

b) Rellena la tabla con los valores de los datagramas cuando los emitió A.

Longitud total	***Identificador***	***Flag DF***	***Flag MF***	***Desplazamiento***
2328	16	0	0	0
1572	28	0	0	0
760	63	0	0	0
3158	95	0	0	0

c) ¿Serán entregados al nivel superior todos los datagramas recibidos?

Identificador 16: Si será entregado al nivel superior, ya que sus fragmentos fueron recibidos. (3 fragmentos en total)

Identificador 28: Sucede lo mismo que en el anterior.

Identificador 63: Si será entregado ya que es solo un paquete sin fragmentación.

Identificador 95: No será entregado ya que falta n los 3 primeros fragmentos del paquete. (Falta el fragmeto con desplazamiento 0 y 97 y 194) (388-291=97)