

# Fragmentación IPv4

**Introducción a los Sistemas Distribuidos (75.43)**

**Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería**



# Introducción

- **Concepto: MTU** (Maximum transmission unit)
  - Máximo tamaño de paquete de datos que se puede transferir en IP
  - Depende de la capa de enlace (por ejemplo, no tenemos la misma MTU en Ethernet que en Wi-Fi).
  - ¿Qué hacemos con paquetes de tamaño  $X$  cuando debe enviarse por una red con  $MTU < X$ ?

# Introducción

- Concepto: **MTU** (Maximum transmission unit)
  - Máximo tamaño de paquete de datos que se puede transferir en IP

$$MTU = MSS + IP_{header} + TCP_{header}$$

- ¿Qué hacemos con paquetes de tamaño X cuando debe enviarse por una red con  $MTU < X$ ?

# Solución: fragmentación

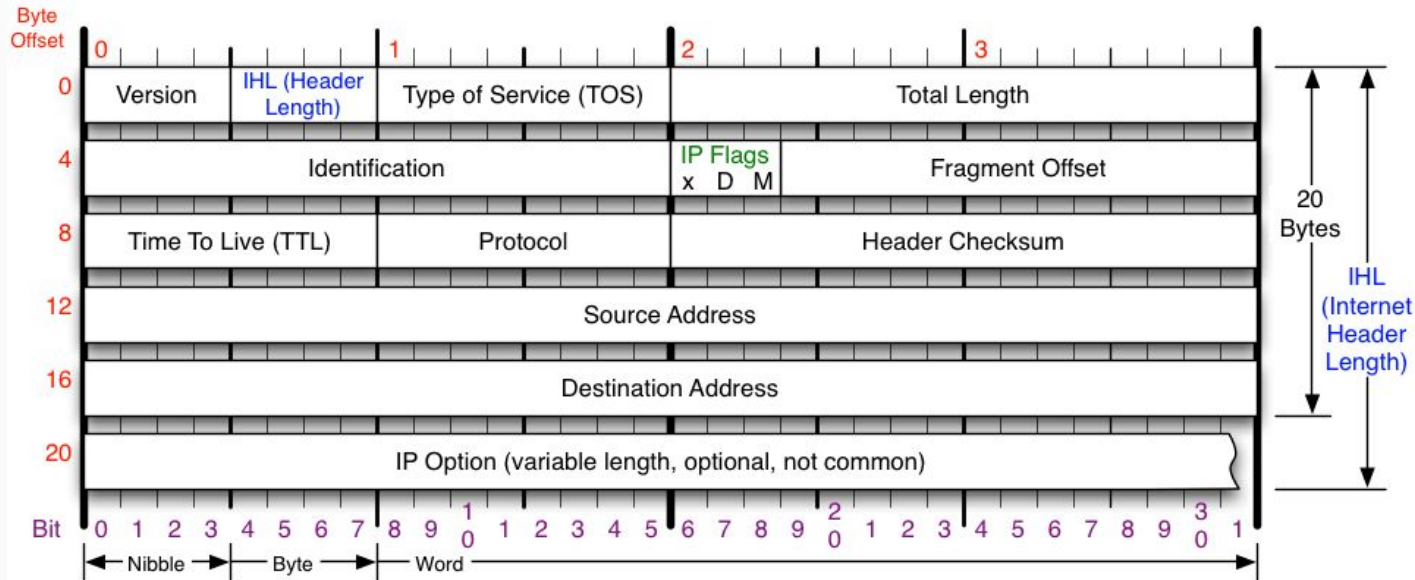
- Fragmentamos el datagrama en partes
  - Cada fragmento se transmite en un paquete IP diferente
- Fragmentación se hace en hosts y/o routers
- Ensamblado solo en el destino
  - IP es **sin conexión**: cada paquete es tratado individualmente
  - No se puede reensamblar en el camino (y costaría CPU en los routers)

# Introducción

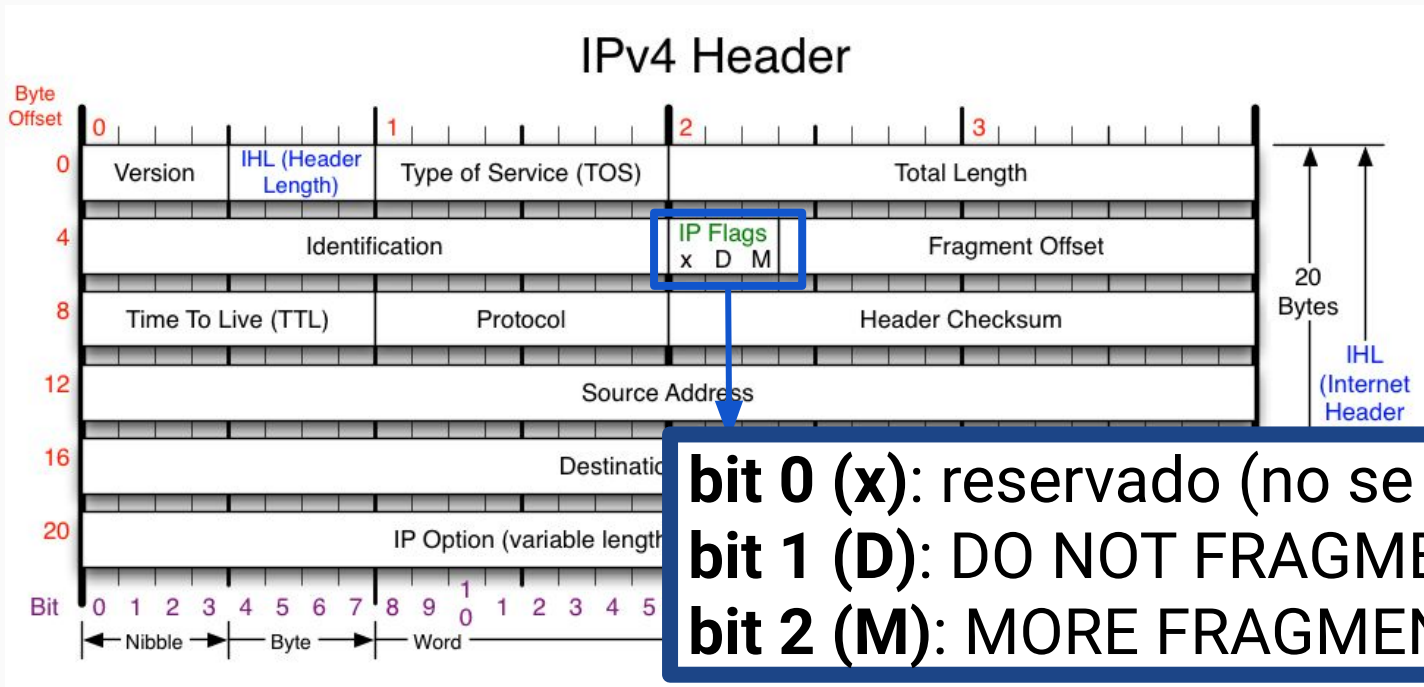
- **La info viaja en el header IP:**
  - Fragment offset
  - Flags
- Hay que ensamblarlos antes de dárselos a TCP/UDP
- Si uno o más no llegan, se descarta toda la secuencia!
  - (No es problema, eventualmente se pedirá que se reenvie desde la capa superior)

# Introducción

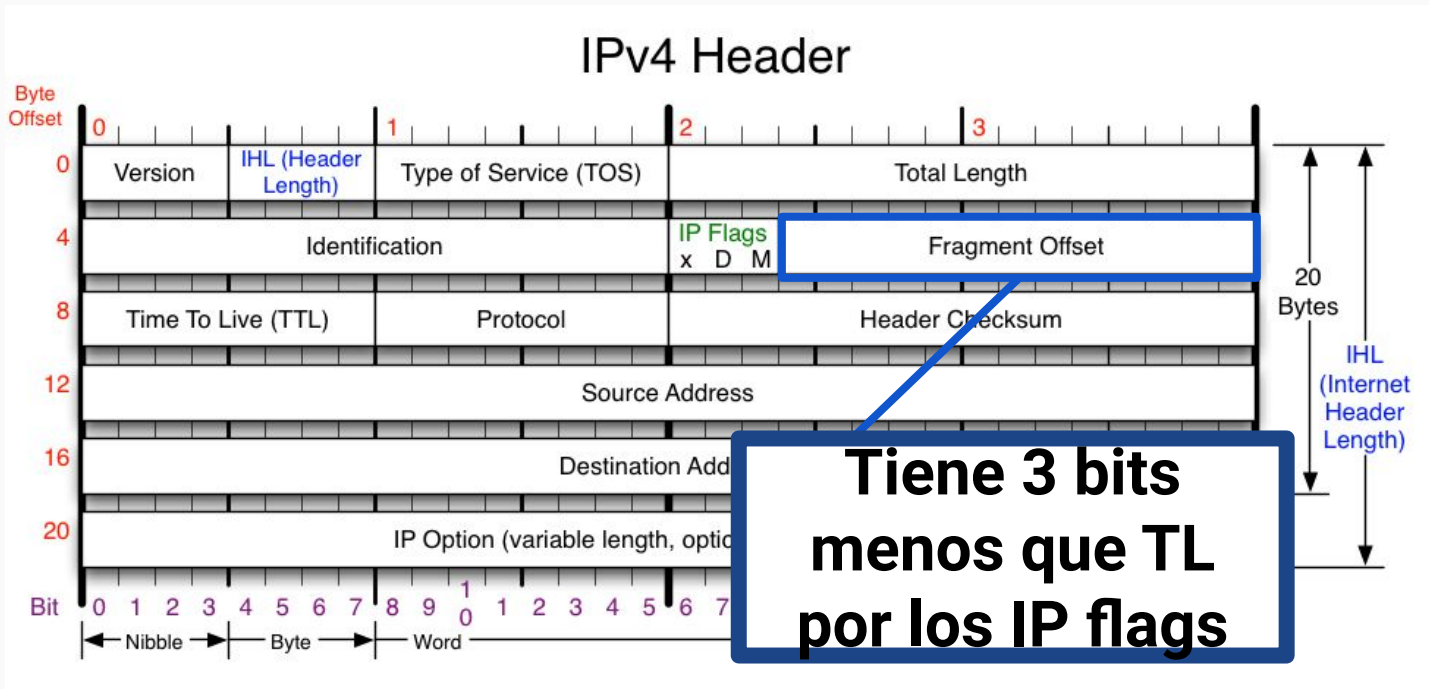
## IPv4 Header



# Introducción

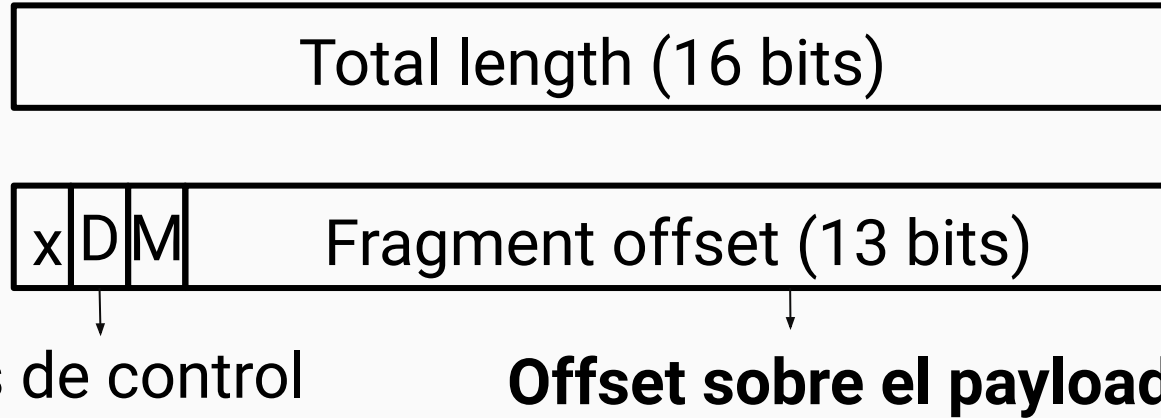


# Introducción



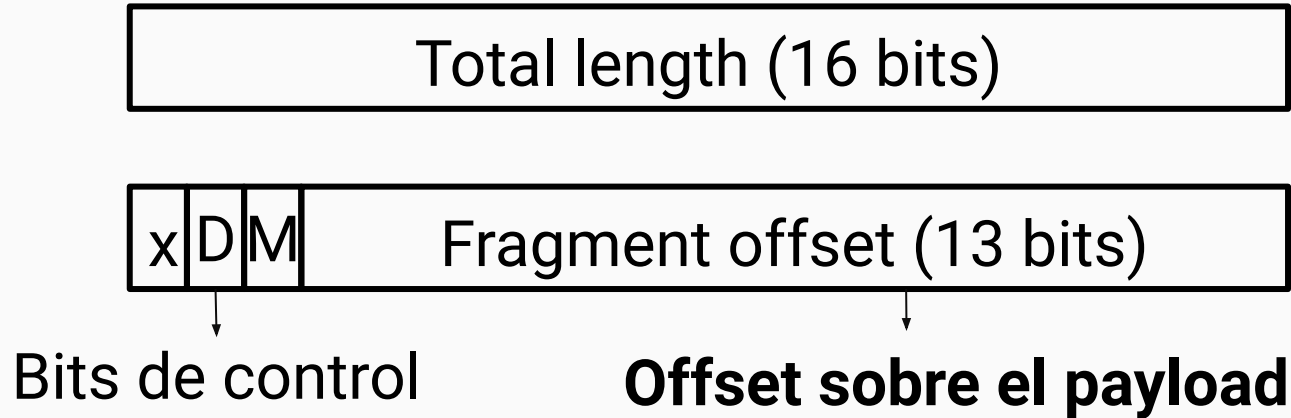


# Fragment offset



- Fragment offset tiene 3 bits menos que Total Length

# Fragment offset



- Fragment offset tiene 3 bits menos que Total Length
- -> **El fragment offset cuenta en unidades de 8 bytes**
- **Cada bit que nos movemos en FO implica movernos 8 en TL**

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x	D	M	Fragment offset (13 bits)
---	---	---	---------------------------

- Supongamos MTU = 550B
  - 530B payload + 20B header
- Quiero enviar un payload 800B
- **Supongamos:**
  - Fragmento 1: 530B
  - Fragmento 2: 270B

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x	D	M	Fragment offset (13 bits)
---	---	---	---------------------------

- Supongamos  $MTU = 550B$ 
  - 530
- Quiero
- Supon
  - Fra
  - Fragmento 2. 270B

**¿Cuál sería el fragment offset de cada fragmento?**

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)



- El primer fragmento tiene  $FO = 0$ .
- Para el segundo fragmento, dijimos que por la diferencia entre los campos TL y FO, el offset se expresaba en unidades de 8 bytes.

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x

D

M

Fragment offset (13 bits)

real offset	fragment offset
8 bytes	1
530 bytes	???

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x	D	M	Fragment offset (13 bits)
---	---	---	---------------------------

real offset	fragment offset
8 bytes	1
530 bytes	66.25

# Fragment offset - Implicancias

**NO PUEDO EXPRESAR ESTE  
NÚMERO EN BINARIO. DEBO  
CAMBIAR EL TAMAÑO DE  
LOS FRAGMENTOS**

real offset	fragment offset
8 bytes	1
530 bytes	66.25



# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x	D	M	Fragment offset (13 bits)
---	---	---	---------------------------

- Supongamos MTU = 550B
  - 530B payload + 20B header
- Quiero enviar un payload de 900B

**¿CÓMO CALCULO EL  
TAMAÑO A UTILIZAR?**

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x	D	M	Fragment offset (13 bits)
---	---	---	---------------------------

- Supongamos MTU = 550B
  - 530B payload + 20B header
- Quiero enviar un payload 800B

$$FragmentPayloadSize = \text{floor}\left(\frac{MaxPayloadSize}{8}\right) * 8$$

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x	D	M	Fragment offset (13 bits)
---	---	---	---------------------------

- Supongamos MTU = 550B
  - 530B payload + 20B header
- Quiero enviar un payload 800B

$$FragmentPayloadSize = \text{floor}\left(\frac{MaxPayloadSize}{8}\right) * 8$$

$$FragmentPayloadSize = \text{floor}\left(\frac{530B}{8}\right) * 8 = 528B$$

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x | D | M

Fragment offset (13 bits)

- Supongamos MTU = 550B
  - 530B payload + 20B header
- Quiero enviar un payload 800B
- **Entonces:**
  - Fragmento 1: 528B (**FO = 0**)
  - Fragmento 2: 800B - 528B = 272B (**FO = ?**)

# Fragment offset - Implicancias

Total length (16 bits)

x | D | M

Fragment offset (13 bits)

real offset	fragment offset
8 bytes	1
528 bytes	???

# Fragment offset - Implicancias

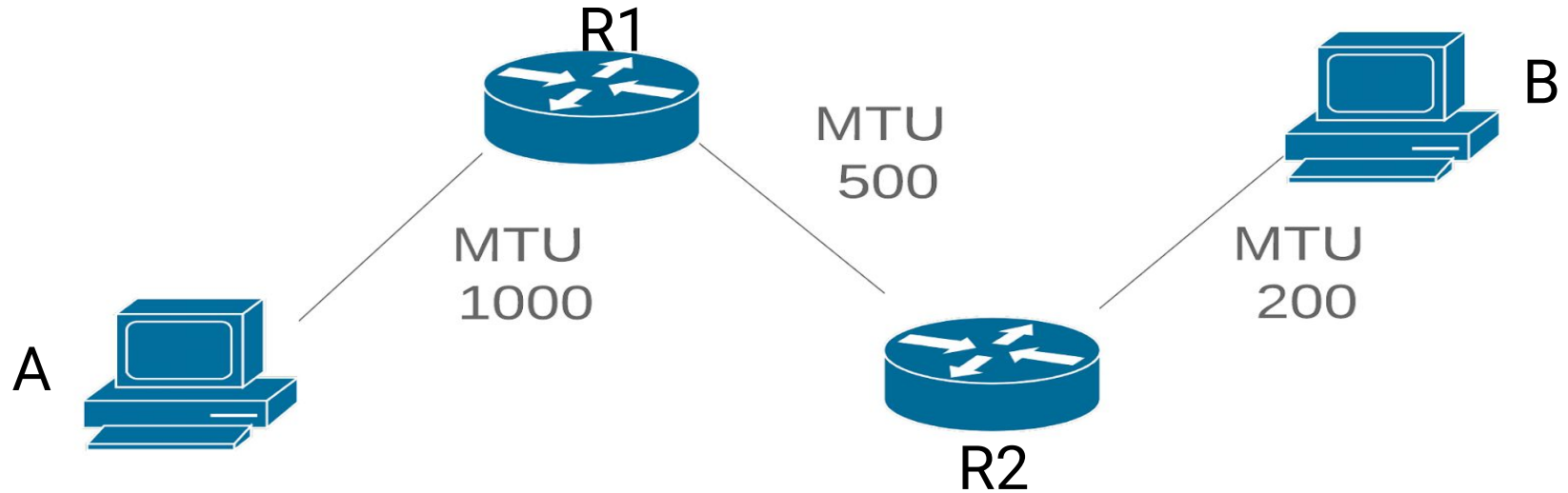
Total length (16 bits)

x D M

Fragment offset (13 bits)

real offset	fragment offset
8 bytes	1
528 bytes	66

# Ejercicio

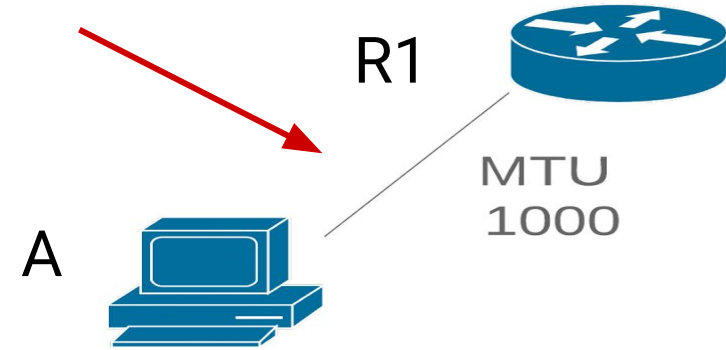


packet = 620B  
payload = 600B

El host A quiere enviar un paquete de tamaño total 620 bytes al host B. Do not fragment **no** es 1.

# Ejercicio

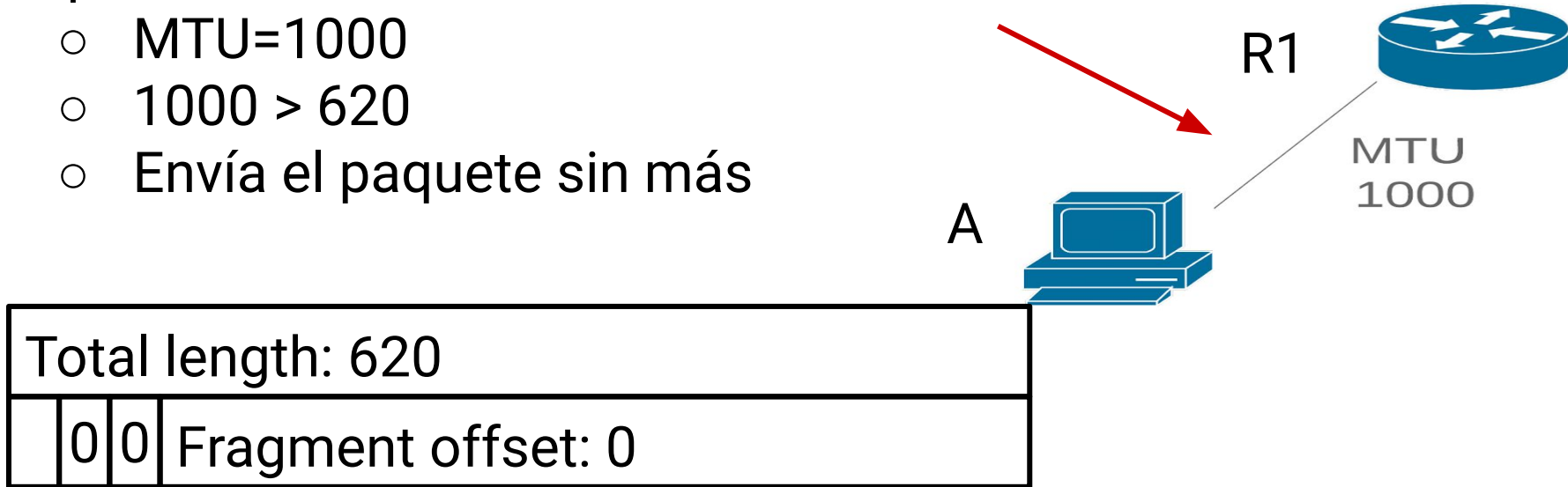
- El host A comprueba en su configuración el MTU
  - MTU=1000
  - $1000 > 620$
  - Envía el paquete sin más





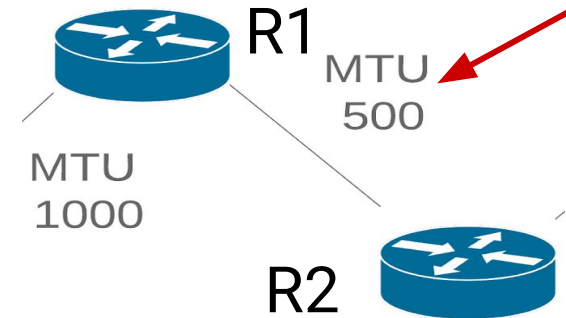
# Ejercicio

- El host A comprueba en su configuración el MTU de la red que lo conecta con R1.
  - MTU=1000
  - $1000 > 620$
  - Envía el paquete sin más



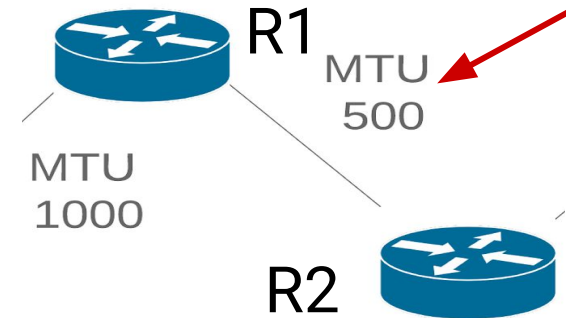
# Ejercicio

- R1 comprueba la conexión con R2.
  - MTU = 500
  - $500 < 620$ .
  - Do not fragment **NO** es 1 -> Fragmenta
- ¿Cómo se elige el tamaño del payload?
  - Se usa el máximo posible
  - MTU - len(header IP)!
  - Recordar que tiene que ser múltiplo de 8!



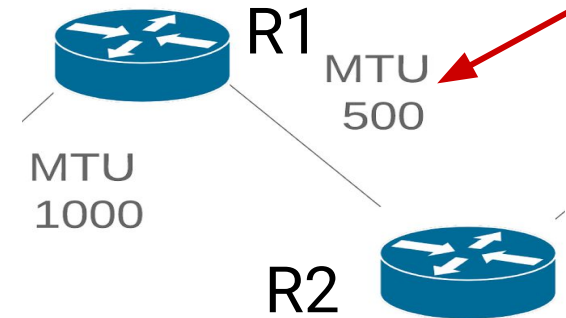
# Ejercicio

- MTU = 500.  $\text{len}(\text{header IP}) = 20$ .
- $500 - 20 = 480$  (480 es múltiplo de 8)
- Entonces, Tpayload = **480** (salvo el último, que puede ser menor)
- ¿Cuántos fragmentos se enviarán?



# Ejercicio

- MTU = 500.  $\text{len}(\text{header IP}) = 20$
- $500 - 20 = 480$  (480 es múltiplo de 8)
- Entonces, Tpayload = **480** (salvo el último, que puede ser menor)
- ¿Cuántos fragmentos se enviarán?
  - Tpayload original = 600 (TL era 620)
  - # frag =  **$\text{ceil}(600 / 480) = 2$** 
    - uno de 480
    - el otro de  $600 - 480 = 120$



# Ejercicio

- **Resumiendo:**
  - Payload total a enviar = 600
  - Tpayload = 480
  - # fragmentos = 2

# Ejercicio

- **Resumiendo:**

- Payload total a enviar: 600
- Tpayload = 480
- # fragmentos = 2

F1

Total length: 480 + 20			
	0	1	Fragment offset: 0

F2

Total length: 120 + 20			
	0	0	Fragment offset: 60

# Ejercicio

- **Resumiendo:**

- Payload total a enviar: 600
- T
- # Hay más fragmentos

F1

Total length: 480

0 1

Fragment offset

480 / 8  
Recordar  
que es en  
unidades de  
8 bytes

Es el último

F2

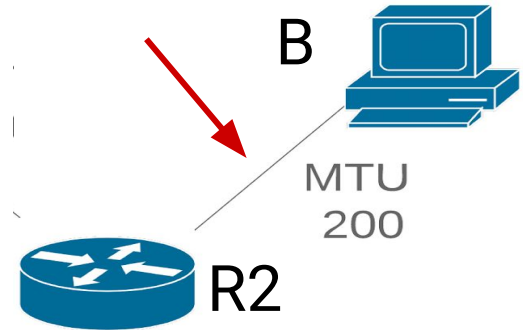
Total length: 120 + 20

0 0

Fragment offset: 60

# Ejercicio

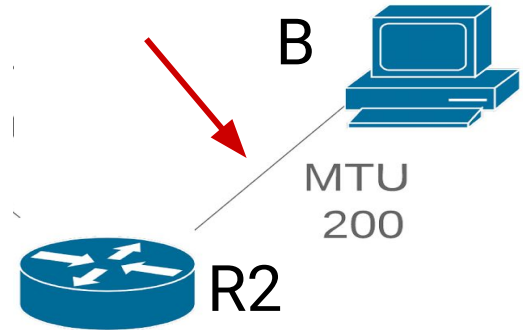
- Cada paquete que llega a R2 se trata en forma independiente.
- Compara TL de *cada paquete* con el MTU de la red que lo conecta con B
  - Para F1, TL = 500 > 200 -> tenemos que fragmentar
  - Para F2, TL = 140 < 200 -> lo envía sin más.





# Ejercicio

- Cada paquete que llega a R2 se trata en forma independiente.
- Compara TL de *cada paquete* con el MTU de la red que lo conecta con B
  - Para F1, TL = 500 > 200 -> tenemos que fragmentar
  - Para F2, TL = 140 < 200 -> lo envía sin más.
- Calculamos el tamaño del payload
  - MTU = 200. len(header ip) = 20
  - $200 - 20 = 180$



# Ejercicio

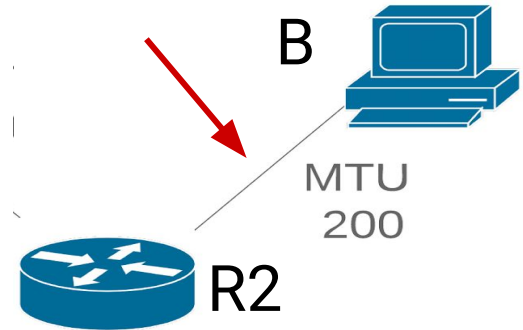
- Cada paquete que llega a R2 se trata en forma independiente.
- Compara TL de *cada paquete* con el MTU de la red que lo conecta con B
  - Para F1, TL = 500 > 200 -> tenemos que fragmentar
  - Para F2, TL = 140 < 200 -> lo envía sin más.
- Calculamos el tamaño del payload
  - MTU = 200. len(header ip) = 20
  - $200 - 20 = 180$
- **Ojo!** El tamaño del payload debe estar alineado a 8 bytes -> Tpayload = 176

PACKET = 500  
PAYLOAD =  $500 - 20 = 480$   
TPAYLOAD = 176

¿Cuántos paquetes me van a quedar fragmentados?  
 $480 / 176 = 2,73$  -> tengo que mandar 3 paquetes, de los cuales 2 van a estar llenos y 1 va a ser aprox del  $176 * 0,73$  ( $480 - 176 * 2 = 128$ ).  
F1 -> PAYLOAD = 176  
F2 -> PAYLOAD = 176  
F3 -> PAYLOAD = 128

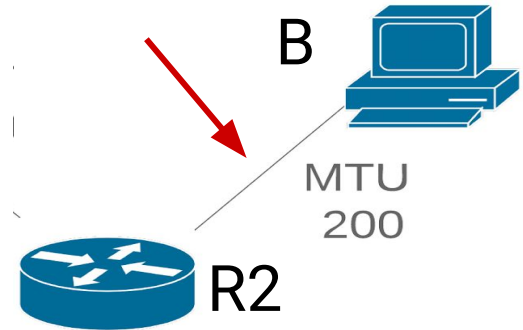
# Ejercicio

- Cada paquete que llega a R2 se trata en forma independiente.
- Compara TL de *cada paquete* con el MTU de la red que lo conecta con B
  - Para F1, TL = 500 > 200 -> tenemos que fragmentar
  - Para F2, TL = 140 < 200 -> lo envía sin más.
- Calculamos el tamaño del paquete:  $\text{floor}(180 / 8) * 8$ 
  - MTU = 200. len(header ip) = 20
  - $200 - 20 = 180$
- **Ojo!** El tamaño del payload debe estar alineado a 8 bytes -> Tpayload = 176



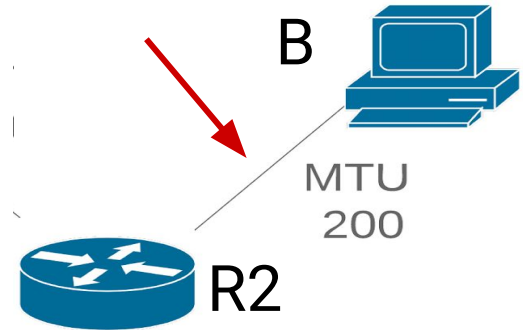
# Ejercicio

- Calculamos el tamaño del payload
  - $MTU = 200$ .  $\text{len}(\text{header ip}) = 20$
  - $200 - 20 = 180$
- **Ojo!** El tamaño del payload debe estar alineado a 8 bytes ->  $T_{\text{payload}} = 176$
- ¿Cuántos fragmentos enviamos?



# Ejercicio

- Calculamos el tamaño del payload
  - $MTU = 200$ .  $\text{len}(\text{header ip}) = 20$
  - $200 - 20 = 180$
- **Ojo!** El tamaño del payload debe estar alineado a 8 bytes ->  $T_{\text{payload}} = 176$
- ¿Cuántos fragmentos enviamos?
  - $T_{\text{payload original}} = 480$
  - $\# \text{ frag} = \text{ceil}(480 / 176) = 3$ 
    - $2 \times 176$
    - $1 \times 480 - 176 - 176 = 128$



# Ejercicio

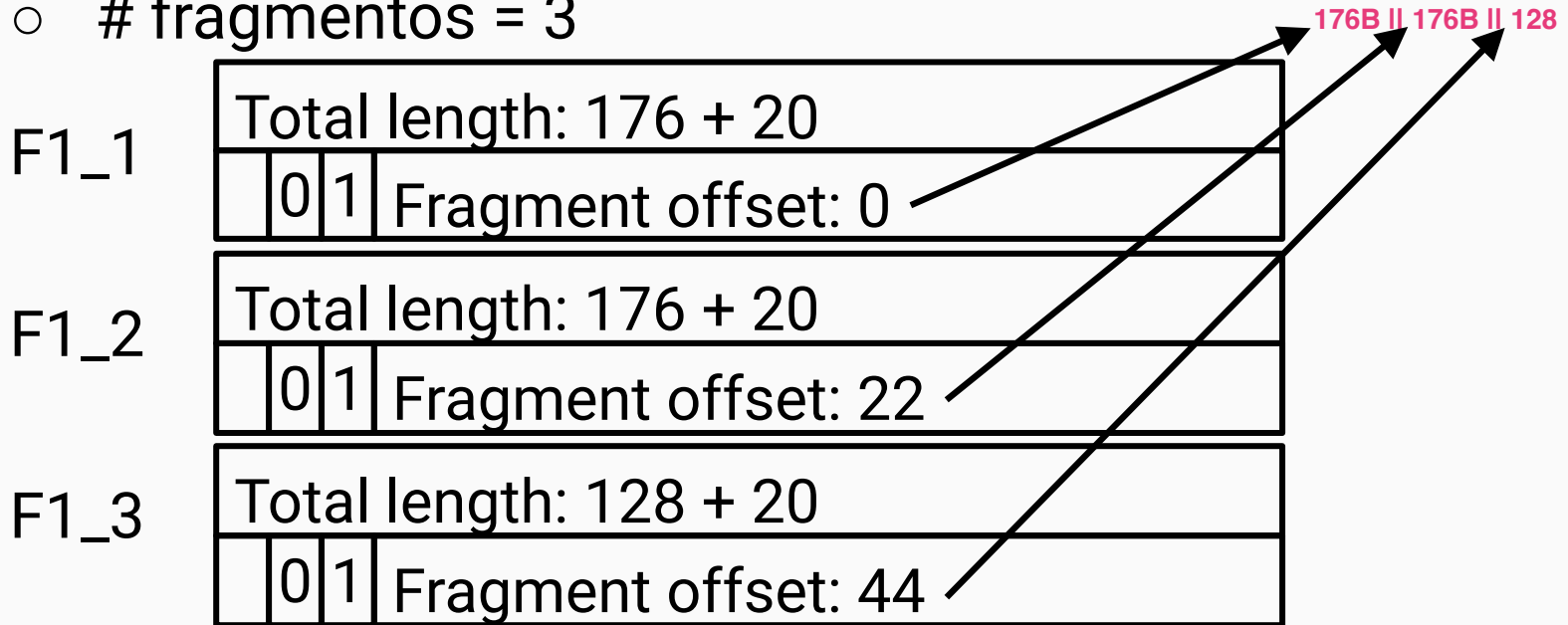
- **Resumiendo (F1):**
  - Payload total a enviar = 480
  - Tpayload = 2 x 176, 1x128
  - # fragmentos = 3

**¿Cómo quedan los fragmentos de F1?**

# Ejercicio

- **Resumiendo (F1):**

- Payload total a enviar = 480
- Tpayload = 2 x 176, 1x128
- # fragmentos = 3



# Ejercicio

- **Resumiendo (F1):**

- Payload total a enviar = 480
- Tpayload = 2 x 176, 1x128
- # fragmentos = 3

F1_1	Total length: 176 + 20			
	<table><tr><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	1	Fragment offset: 0
0	1			
F1_2	Total length: 176 + 20			
	<table><tr><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	1	Fragment offset: 22
0	1			
F1_3	Total length: 128 + 20			
	<table><tr><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	1	Fragment offset: 44
0	1			

El bit MF también se hereda

Para el primer fragmento, se copia el FO base del paquete original

El bit MF también se hereda



# Ejercicio

**Lo que le llega al host B es entonces:**

Nro de frag	Fragment offset	Total length	Payload length	More fragments
F1_1	0	196	176	1
F1_2	22	196	176	1
F1_3	44	148	128	1
F2	60	140	120	0

# Ejercicio

**Lo que le llega al host B es entonces:**

Nro de frag	Fragment offset	Total length	Payload length	More fragments
F1_1	0	196	176	1
F1_2	22	196	176	1
F1_3	44	148	128	1
F2	60	140	120	0

La suma de los payloads parciales debe dar el  
payload que queríamos enviar inicialmente  
 **$600 = 176 + 176 + 128 + 120$**

# Fragmentación - Ataques DoS

## **Ataque a hosts:**

- Un atacante envía un fragmento, pero no envía el resto.
- El receptor crea un buffer para almacenar los fragmentos para luego reconstruirlos.
- Haciendo esto a gran escala se logra agotar los recursos del host.

# Fragmentación - Ataques DoS

## **Ataque a routers:**

- Un atacante envía un paquete para ser fragmentado.
- El router dedica pocos recursos a realizar la fragmentación.
- Haciendo esto a gran escala se logra drenar el CPU del router.

# Referencias

- Kurose, James F., and Keith W. Ross. "4.3.2 IPv4 Datagram Fragmentation" Computer Networking: A Top-down Approach. 7ed. Hoboken, NJ: Pearson.
- Kurose, James F., and Keith W. Ross. "4.3.3 IPv4 Addressing" Computer Networking: A Top-down Approach. 7ed. Hoboken, NJ: Pearson.