# Nuevos protocolos

# Factores en el rendimiento

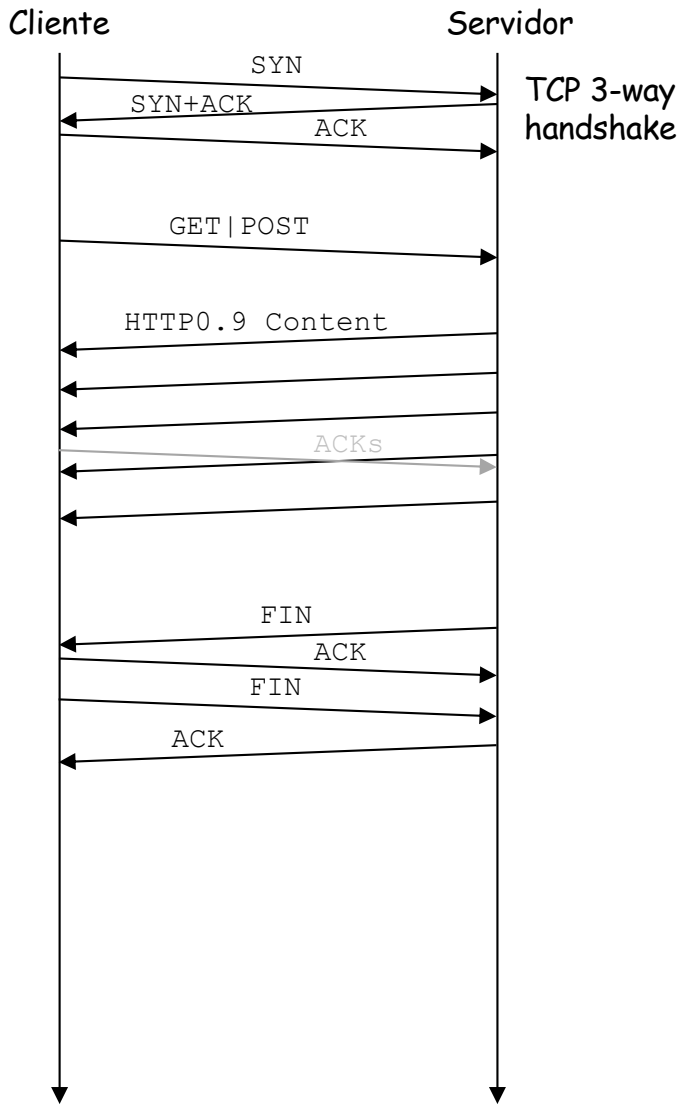
- La infraestructura de red
  - Capacidad en el camino
  - Probabilidad de pérdidas
  - Desórdenes
  - Retardos
- El protocolo de transporte
  - Mecanismos de control de conexión
  - Reacción ante pérdidas
  - Adaptación ante congestión (y evitarla)
- El protocolo de aplicación

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa
**Redes de Nueva Generación**
*Área de Ingeniería Telemática*

# HTTP 1.1 – Conexiones persistentes y pipelining

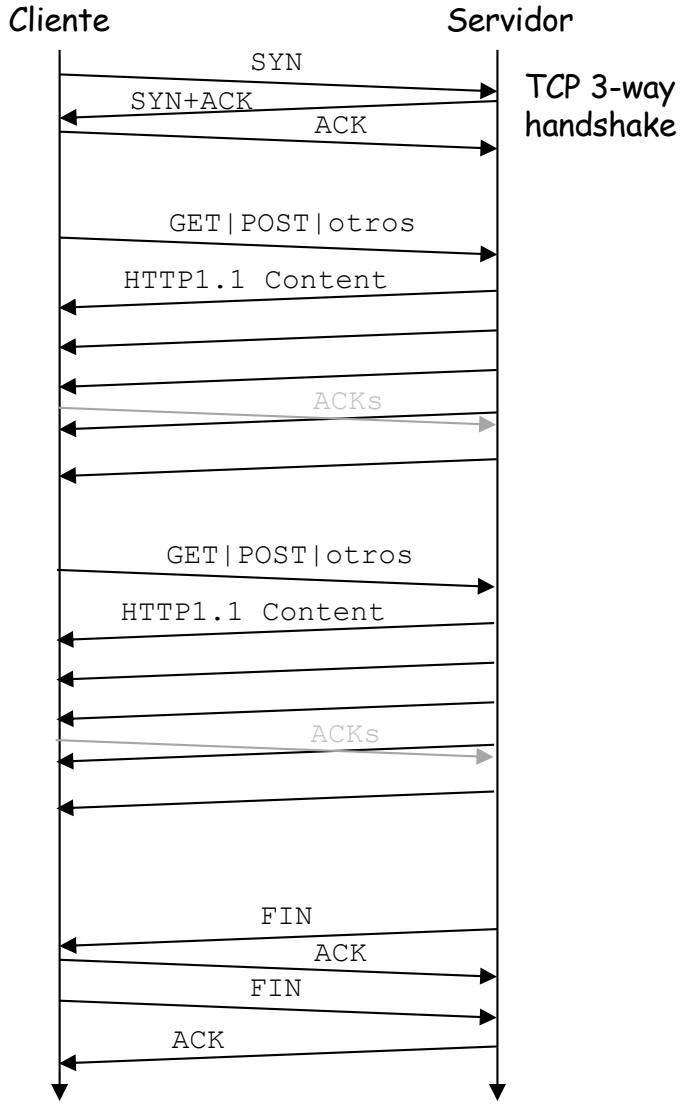
# HTTP < 1.1

- Una petición por conexión
- Cierre marca el final de la respuesta



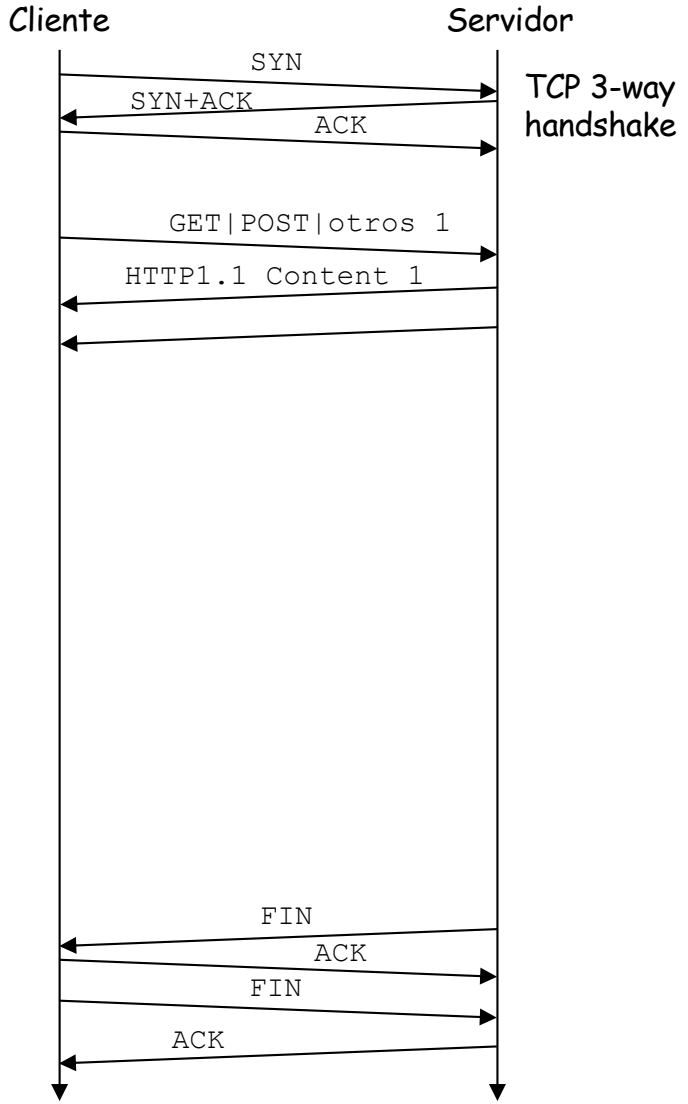
# HTTP 1.1

- Conexiones persistentes



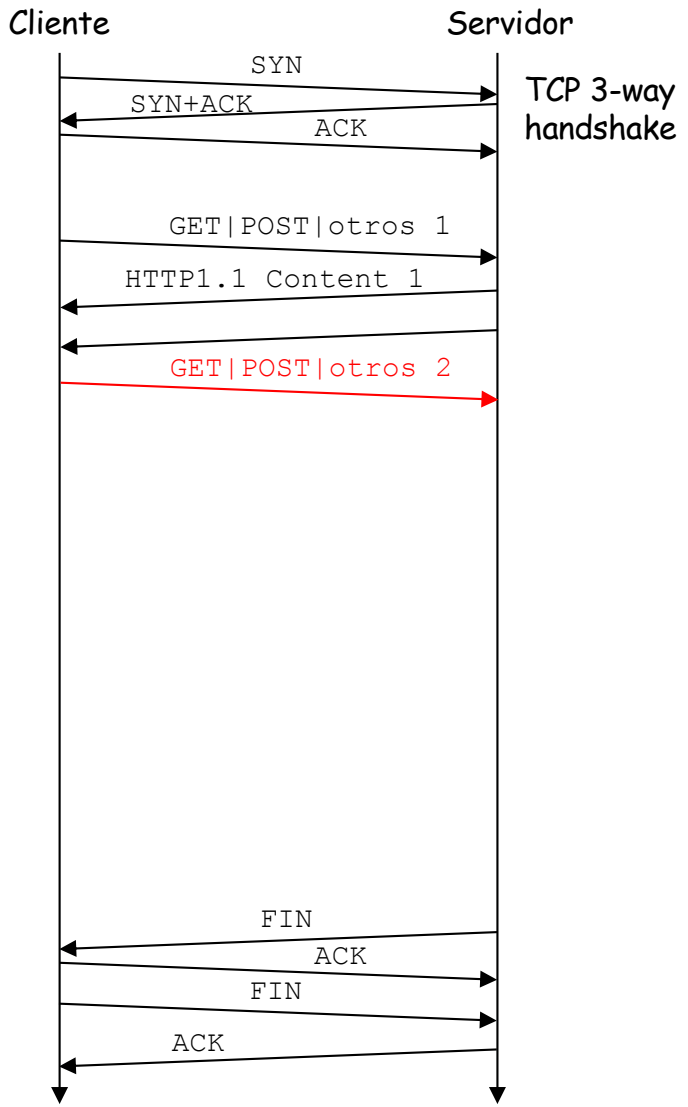
# HTTP 1.1

- Conexiones persistentes
- Pipelining (...)



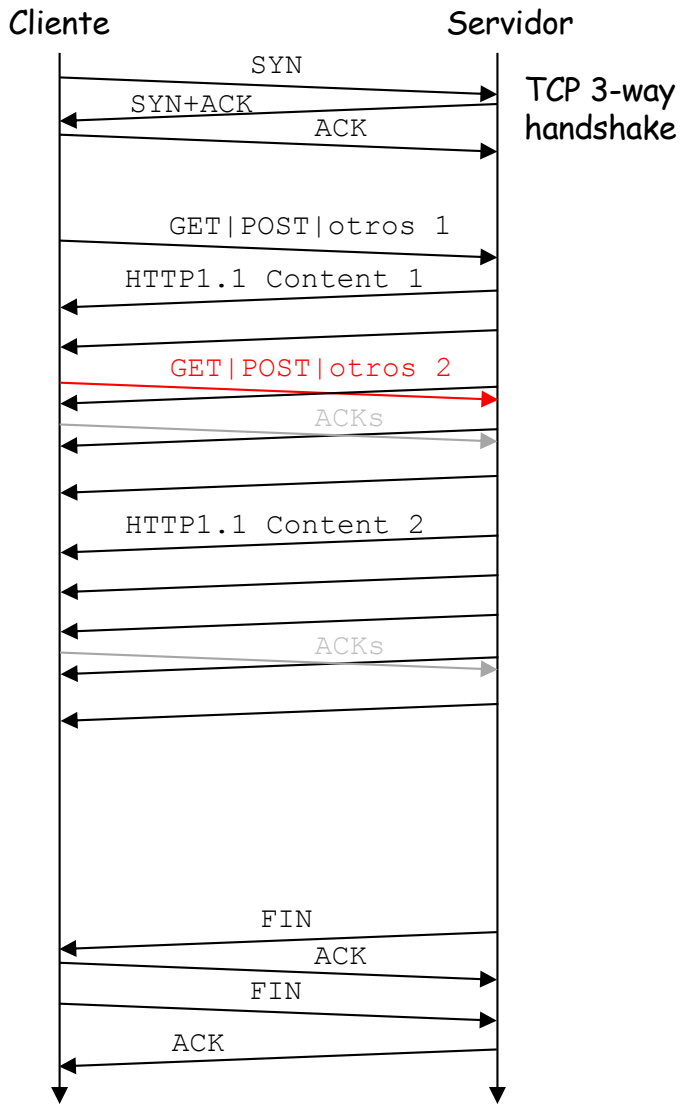
# HTTP 1.1

- Conexiones persistentes
- Pipelining (...)



# HTTP 1.1

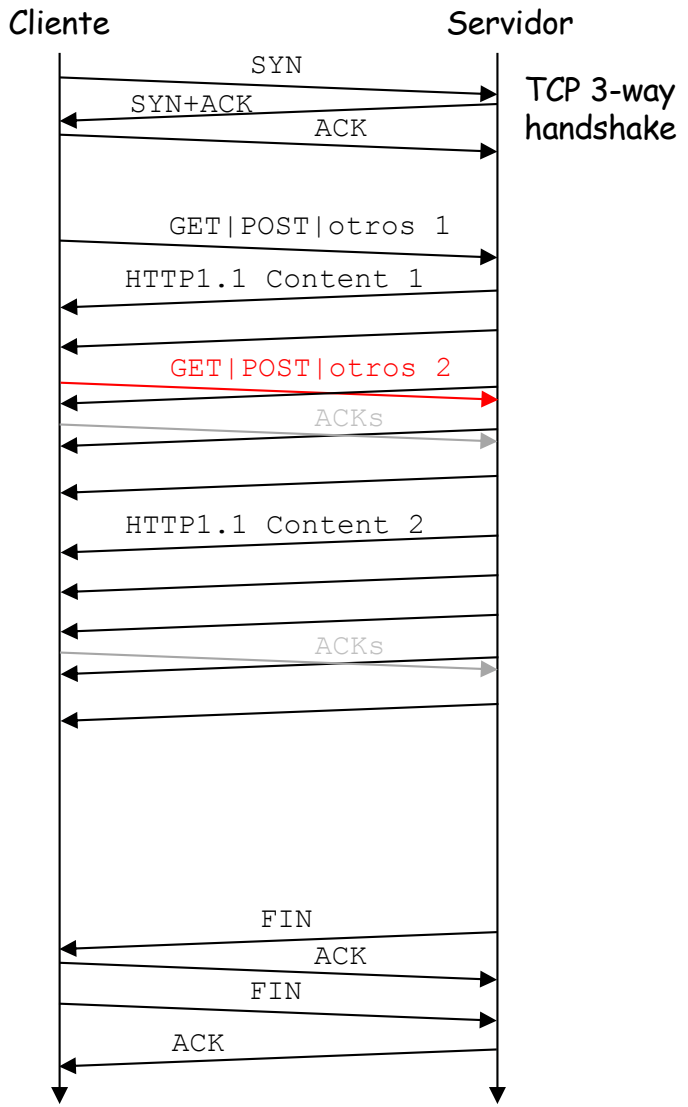
- Conexiones persistentes
- Pipelining: respuestas en el mismo orden que las peticiones



# HTTP 1.1

- Conexiones persistentes
- Pipelining: respuestas en el mismo orden que las peticiones
- Posible entrega de rangos de bytes

- RFC original 2616 (junio 1999)
- RFC 9112: HTTP/1.1 (junio 2022) deja obsoleta la RFC 7230 (y ésta la 2616)

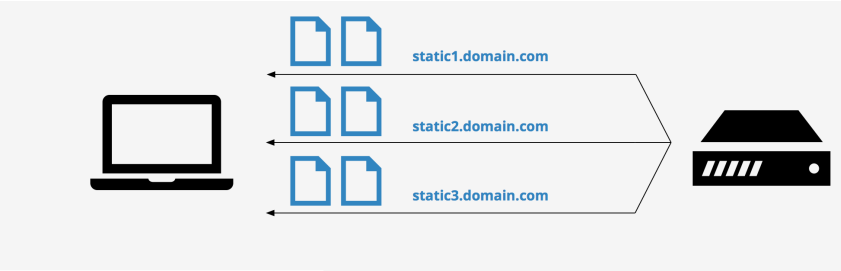


# HTTP1.1

- Algunas mejoras en HTTP1.1
  - Conexiones persistentes
  - Pipelining
  - Entrega de rangos de bytes

# HTTP1.1

- Y algunos “hacks” de navegadores y desarrolladores
  - Conexiones en paralelo (limitadas a 5-6 para un servidor)
  - *Domain sharding* (recursos en diferentes dominios)
  - Unión de ficheros pequeños (CSS, Javascript, imágenes)
  - Inline de ficheros con el HTML




Domain Sharding

```
<img src=" iVBORw0KGgoAAAANSUhEUgAAAAUA
  AAAFCAYAAACNbyblAAAAHElEQVQI12P4//8/w38GIAXDIBKE0DHxgljNBAAO
      9TXL0Y4OHwAAAABJRU5ErkJggg==" alt="Red dot" />
```

# HTTP1.1 - Problemas

- Y algunos “hacks” de navegadores y desarrolladores
  - Conexiones en paralelo (limitadas a 5-6 para un servidor)
  - *Domain sharding* (recursos en diferentes dominios)
  - Unión de ficheros pequeños (CSS, Javascript, imágenes)
  - Inline de ficheros con el HTML

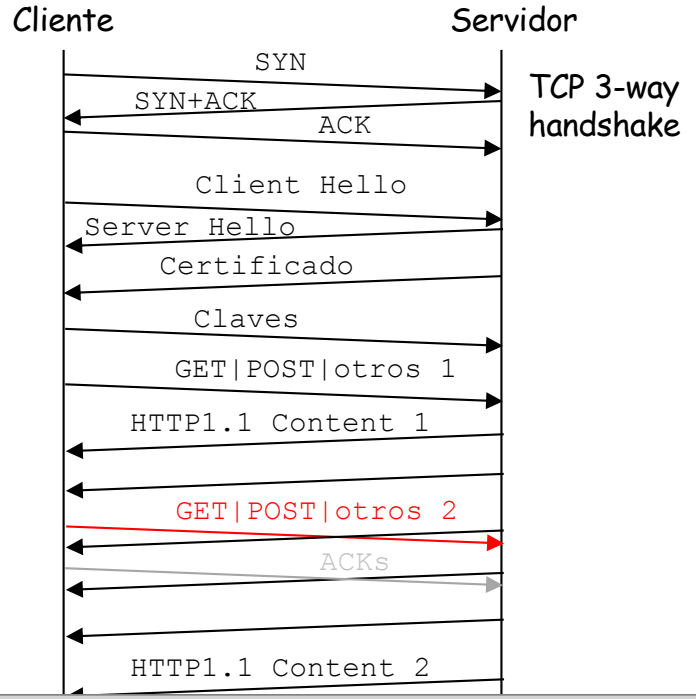
- Conexiones en paralelo y domain sharding crean mayor número de sockets, más conexiones en NATs, más DNS
- Concatenación e inlining rompe la modularidad y entorpece las caches

# HTTP1.1 - Problemas

- Optimizado para grandes transferencias, pero una web contiene muchos recursos pequeños
- Pipelining no suele emplearse (problemas con proxies y algunos servidores)
- Aún con pipelining tiene **HOL blocking** (hasta completar respuesta grande no se atiende a otra del pipeline)
- Para mejorar el tiempo de carga hay que reducir el RTT (CDNs), pero esto tiene un límite (“c”)
- Reducir RTT reduciendo *chattiness*
- *TLS* añade aún más RTTs

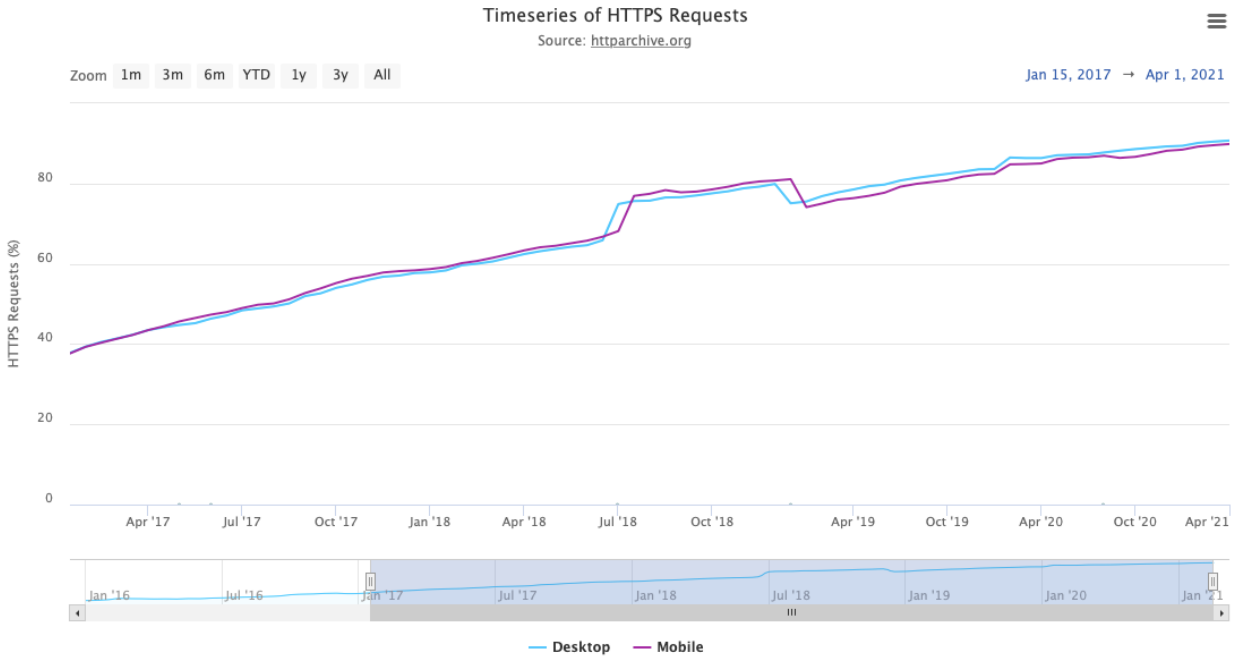
# HTTP 1.1 + TLS

- Identificación de capacidades (ciphers, versiones)
- Intercambio de certificados
- Intercambio de información para la construcción de claves
- Al menos 1 RTT

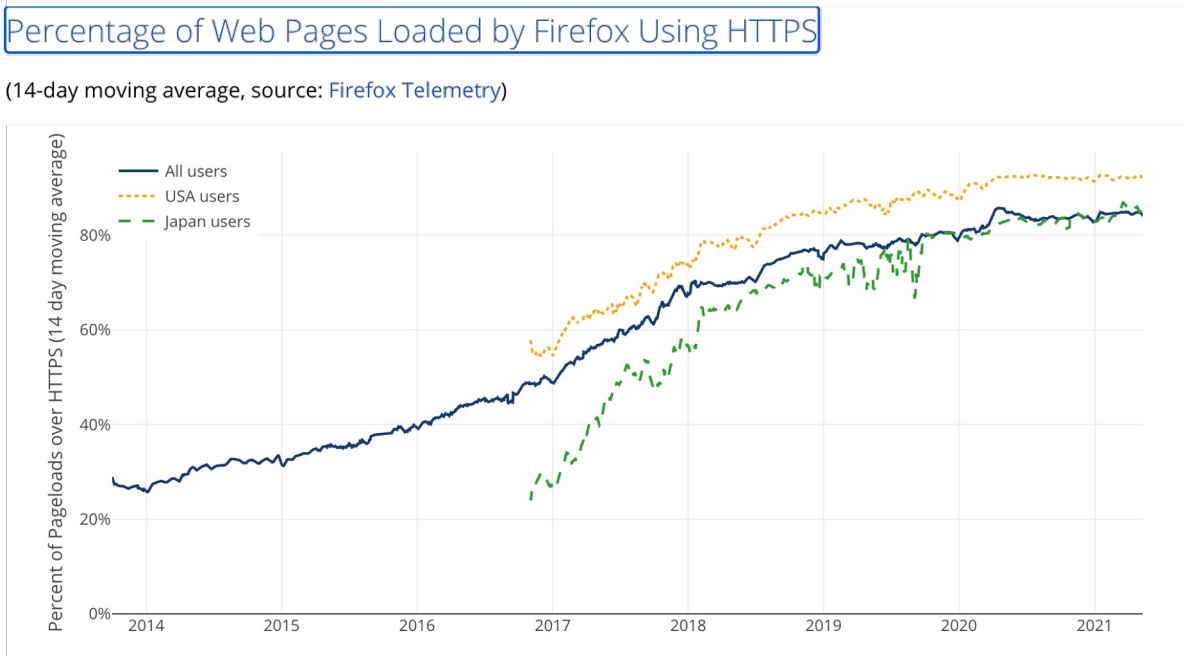



| | Time | Source | Destination | Total Length | Info |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.000000 | 10.6.4.40 | 108.174.11.37 | 60 | 45782 → 443 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1 TSval=2004512222 TSecr=0 WS=128 |
| 2 | 0.185023 | 108.174.11.37 | 10.6.4.40 | 60 | 443 → 45782 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=43440 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1 TSval=1697854058 TSe |
| 3 | 0.185106 | 10.6.4.40 | 108.174.11.37 | 52 | 45782 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=64256 Len=0 TSval=2004512407 TSecr=1697854058 |
| 4 | 0.201494 | 10.6.4.40 | 108.174.11.37 | 569 | Client Hello |
| 5 | 0.386559 | 108.174.11.37 | 10.6.4.40 | 52 | 443 → 45782 [ACK] Seq=1 Ack=518 Win=45056 Len=0 TSval=1697854260 TSecr=2004512423 |
| 6 | 0.388269 | 108.174.11.37 | 10.6.4.40 | 1500 | Server Hello |
| 7 | 0.388341 | 10.6.4.40 | 108.174.11.37 | 52 | 45782 → 443 [ACK] Seq=518 Ack=1449 Win=64128 Len=0 TSval=2004512610 TSecr=1697854261 |
| 8 | 0.388394 | 108.174.11.37 | 10.6.4.40 | 1500 | 443 → 45782 [ACK] Seq=1449 Ack=518 Win=45056 Len=1448 TSval=1697854261 TSecr=2004512423 [TCP |
| 9 | 0.388394 | 108.174.11.37 | 10.6.4.40 | 476 | Certificate, Server Key Exchange, Server Hello Done |
| 10 | 0.388452 | 10.6.4.40 | 108.174.11.37 | 52 | 45782 → 443 [ACK] Seq=518 Ack=3321 Win=63488 Len=0 TSval=2004512610 TSecr=1697854261 |
| 11 | 0.392660 | 10.6.4.40 | 108.174.11.37 | 145 | Client Key Exchange, Change Cipher Spec, Finished |
| 12 | 0.392847 | 10.6.4.40 | 108.174.11.37 | 151 | Magic, SETTINGS[0], WINDOW_UPDATE[0] |

# HTTP 1.1 + TLS




(Puede ser H2)



upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa
**Redes de Nueva Generación**
*Área de Ingeniería Telemática*

# HTTP 1.1 – Conexiones persistentes y pipelining

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**Redes de Nueva Generación**
*Área de Ingeniería Telemática*

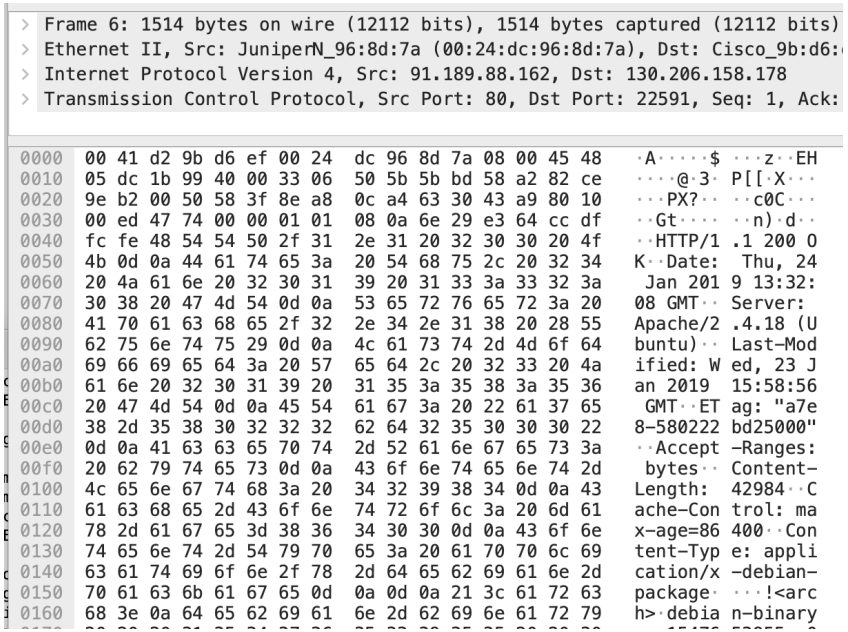
# HTTP/2

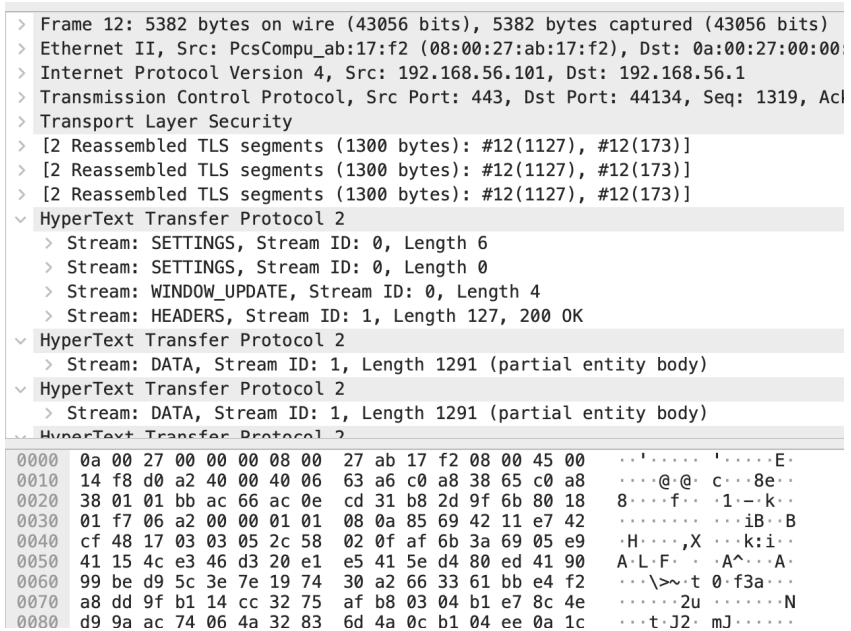
upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa
**Redes de Nueva Generación**
*Área de Ingeniería Telemática*

# HTTP/2 - Características

# HTTP/2 (H2)

- RFC 9113 “HTTP/2” (Mozilla, Apple, 2022), deja obsoleta la RFC 7540 “Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2)” (BitGo, Google, Mozilla, 2015)
- (Antes SPDY, de Google)
- Binario
  - Ya no es texto, más compacto, más eficiente al procesarlo
  - Se pueden comprimir las cabeceras (evita tener que enviarlas en cada petición o respuesta)
  - Permite multiplexación



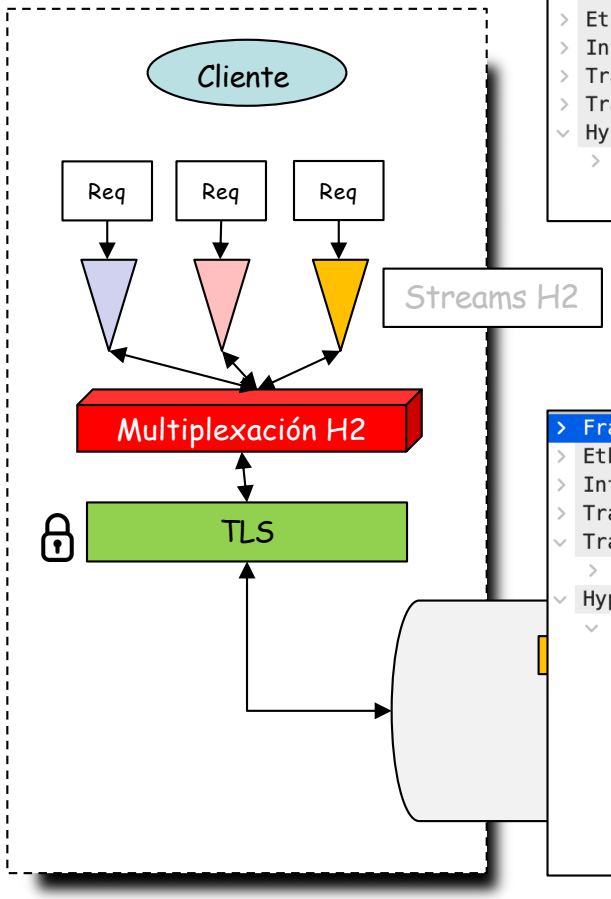



# HTTP/2 (H2)

- RFC 9113 “HTTP/2” (Mozilla, Apple, 2022), deja obsoleta la RFC 7540 “Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2)” (BitGo, Google, Mozilla, 2015)
- (Antes SPDY, de Google)
- Binario
  - Ya no es texto, más compacto, más eficiente al procesarlo
  - Se pueden comprimir las cabeceras (evita tener que enviarlas en cada petición o respuesta)
  - Permite multiplexación
- Multiplexación
  - Peticiones y respuestas pueden estar multiplexadas
  - Eso quiere decir por ejemplo que no es necesario completar una respuesta para empezar a enviar otra
  - Trabaja con *streams* dentro de una sola conexión
  - El navegador puede asignarles prioridades en las peticiones
  - Esto elimina el HOL blocking y la necesidad de conexiones en paralelo

# Multiplexación en H2

- Frames (nombre en H2) de los diferentes streams HTTP/2 en mensajes *Application Data* de TLS enviados por la conexión TCP
- Frame HEADERS contienen la cabecera HTTP
- Frame DATA con el contenido de la respuesta (o del POST)

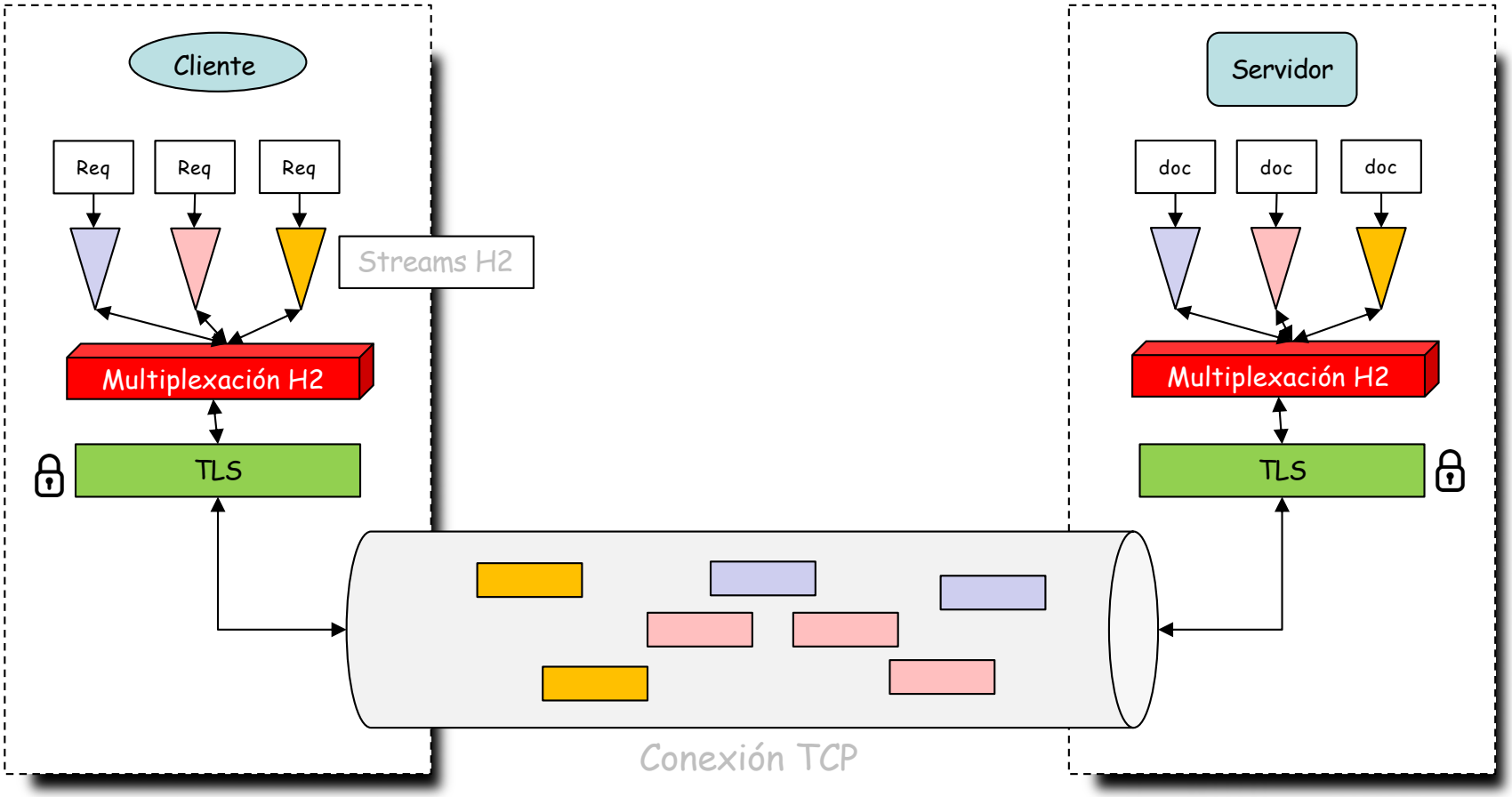



```
> Frame 27: 151 bytes on wire (1208 bits), 151 bytes captured (1208 bits)
> Ethernet II, Src: 0a:00:27:00:00:00 (0a:00:27:00:00:00), Dst: PcsCompu_ab:17:f2 (08:00:27:ab:17:f2)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.56.1, Dst: 192.168.56.101
> Transmission Control Protocol, Src Port: 44134, Dst Port: 443, Seq: 1290, Ack: 72700, Len: 85
> Transport Layer Security
v HyperText Transfer Protocol 2
  > Stream: HEADERS, Stream ID: 5, Length 47, GET /src/site_0/15819353559434493.jpg
```

```
> Frame 20: 1514 bytes on wire (12112 bits), 1514 bytes captured (12112 bits)
> Ethernet II, Src: PcsCompu_ab:17:f2 (08:00:27:ab:17:f2), Dst: 0a:00:27:00:00:00 (0a:00:27:00:00:00)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.56.101, Dst: 192.168.56.1
> Transmission Control Protocol, Src Port: 443, Dst Port: 53124, Seq: 12218, Ack: 822, Len: 1448
v Transport Layer Security
  > TLSv1.2 Record Layer: Application Data Protocol: http2
v HyperText Transfer Protocol 2
  v Stream: DATA, Stream ID: 1, Length 1291 (partial entity body)
      Length: 1291
      Type: DATA (0)
    > Flags: 0x00
      0... .... .... .... .... .... .... .... = Reserved: 0x0
      .000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 = Stream Identifier: 1
      [Pad Length: 0]
      Data: 7a6a6e794b3777305a41430d4f79657a6543654f6d5263734579697a6a6b444170554720…
```

# Multiplexación en H2

- Frames (nombre en H2) de los diferentes streams HTTP/2 en mensajes *Application Data* de TLS enviados por la conexión TCP
- Frame HEADERS contienen la cabecera HTTP
- Frame DATA con el contenido de la respuesta (o del POST)



# Ejemplo

| No. | Time | Source | Destination | Info |
|---|---|---|---|---|
| 61 | 0.411754 | 10.6.4.40 | 72.247.210.11 | HEADERS[9]: GET /wp-content/themes/nobelprize/dist/css/style.0.4.2.min.css?ver=0.4.2 |
| 62 | 0.411803 | 10.6.4.40 | 72.247.210.11 | HEADERS[11]: GET /wp-content/plugins/jetpack/css/jetpack.css?ver=9.2.1 |
| 63 | 0.411803 | 10.6.4.40 | 72.247.210.11 | HEADERS[13]: GET /wp-content/themes/nobelprize/assets/js/frontend/lib/loadjs.js?ver=0.4.2 |
| 64 | 0.422646 | 72.247.210.11 | 10.6.4.40 | 443 → 60836 [ACK] Seq=29891 Ack=1635 Win=32256 Len=0 TSval=2231141594 TSecr=154066703 |
| 65 | 0.423735 | 10.6.4.40 | 72.247.210.11 | HEADERS[15]: GET /wp-content/themes/nobelprize/assets/js/frontend/lib/clamp/clamp.min.js?ver=0.4.2 |
| 66 | 0.423785 | 10.6.4.40 | 72.247.210.11 | HEADERS[17]: GET /wp-content/plugins/nobelprize/assets/js/admin/lib/flickity/flickity.pkgd.js?ver=0.2.0-3 |
| 67 | 0.423834 | 10.6.4.40 | 72.247.210.11 | HEADERS[19]: GET /wp-content/themes/nobelprize/dist/js/frontend.0.4.2.min.js?ver=0.4.2 |
| 68 | 0.425261 | 72.247.210.11 | 10.6.4.40 | 443 → 60836 [ACK] Seq=29891 Ack=1746 Win=32256 Len=1448 TSval=2231141596 TSecr=154066703 [TCP segment of |
| 69 | 0.425357 | 72.247.210.11 | 10.6.4.40 | HEADERS[3]: 200 OK, DATA[3], DATA[3] (text/css) |
| 70 | 0.425447 | 10.6.4.40 | 72.247.210.11 | 60836 → 443 [ACK] Seq=2092 Ack=32472 Win=63488 Len=0 TSval=154066717 TSecr=2231141596 |
| 71 | 0.426687 | 72.247.210.11 | 10.6.4.40 | HEADERS[5]: 200 OK, DATA[5], DATA[5] (text/css) |
| 72 | 0.427213 | 72.247.210.11 | 10.6.4.40 | 443 → 60836 [ACK] Seq=33326 Ack=1746 Win=32256 Len=1448 TSval=2231141598 TSecr=154066703 [TCP segment of |
| 73 | 0.427279 | 10.6.4.40 | 72.247.210.11 | 60836 → 443 [ACK] Seq=2092 Ack=34774 Win=63488 Len=0 TSval=154066719 TSecr=2231141598 |
| 74 | 0.427335 | 72.247.210.11 | 10.6.4.40 | 443 → 60836 [ACK] Seq=34774 Ack=1746 Win=32256 Len=1448 TSval=2231141598 TSecr=154066703 [TCP segment of |
| 75 | 0.427459 | 72.247.210.11 | 10.6.4.40 | 443 → 60836 [ACK] Seq=36222 Ack=1746 Win=32256 Len=1448 TSval=2231141598 TSecr=154066703 [TCP segment of |

```
▶ Frame 69: 1199 bytes on wire (9592 bits), 1199 bytes captured (9592 bits)
▶ Ethernet II, Src: Cisco_dc:71:c4 (30:e4:db:dc:71:c4), Dst: Universa_2c:dc:6c (00:1e:37:2c:dc:6c)
▶ Internet Protocol Version 4, Src: 72.247.210.11, Dst: 10.6.4.40
▶ Transmission Control Protocol, Src Port: 443, Dst Port: 60836, Seq: 31339, Ack: 1746, Len: 1133
▶ [2 Reassembled TCP Segments (2581 bytes): #68(1448), #69(1133)]
▼ Transport Layer Security
  ▼ TLSv1.3 Record Layer: Application Data Protocol: http2
      Opaque Type: Application Data (23)
      Version: TLS 1.2 (0x0303)
      Length: 2576
      [Content Type: Application Data (23)]
      Encrypted Application Data: 77f9299f91c1e3032294907016a1b4ea3a5a541fe3dc618bc9b9c27bf0f6efba97b46755…
      [Application Data Protocol: http2]
▼ HyperText Transfer Protocol 2
  ▶ Stream: HEADERS, Stream ID: 3, Length 227, 200 OK
  ▼ Stream: DATA, Stream ID: 3, Length 2305 (partial entity body)
      Length: 2305
      Type: DATA (0)
    ▶ Flags: 0x00
      0... .... .... .... .... .... .... .... = Reserved: 0x0
      .000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0011 = Stream Identifier: 3
      [Pad Length: 0]
      Reassembled body in frame: 69
      Data: 1f8b0800000000000000cd5ae98ee336127e156f06013241d8b0bddd8389849d3ffb1883…
  ▶ Stream: DATA, Stream ID: 3, Length 0
```

# HTTP/2 (H2)

- RFC 7540 “Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2)” (BitGo, Google, Mozilla, 2015)
- (Antes SPDY, de Google)
- Binario
  - Ya no es texto, más compacto, más eficiente al procesarlo
  - Se pueden comprimir las cabeceras (evita tener que enviarlas en cada petición o respuesta)
  - Permite multiplexación
- Multiplexación
  - Peticiones y respuestas pueden estar multiplexadas
  - Eso quiere decir por ejemplo que no es necesario completar una respuesta para empezar a enviar otra
  - Trabaja con *streams* dentro de una sola conexión
  - El navegador puede asignarles prioridades en las peticiones
  - Esto elimina el HOL blocking y la necesidad de conexiones en paralelo
- Server Push
  - El servidor puede entregar recursos al cliente aunque no los haya pedido
  - Ahorra la petición (esto se estaba haciendo con el *inlining*)

# HTTP/2

- Flow Control
  - Para cada *stream*
  - HTTP/2 no fuerza a un algoritmo para el control de flujo, solo lo soporta
- Negociación
  - Mediante mensajes se puede subir una conexión de HTTP1.1 a HTTP/2
  - Obsoleto desde RFC 9113 (2022)

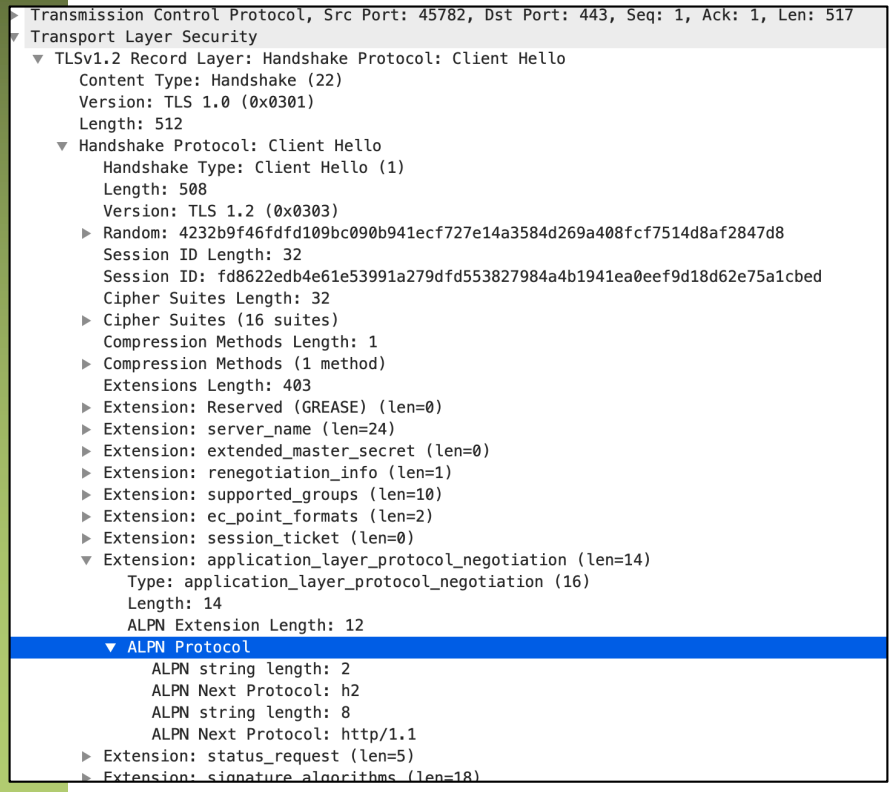
```
GET /page HTTP/1.1
Host: server.example.com
Connection: Upgrade, HTTP2-Settings
Upgrade: HTTP/2.0
HTTP2-Settings: (SETTINGS payload)
```

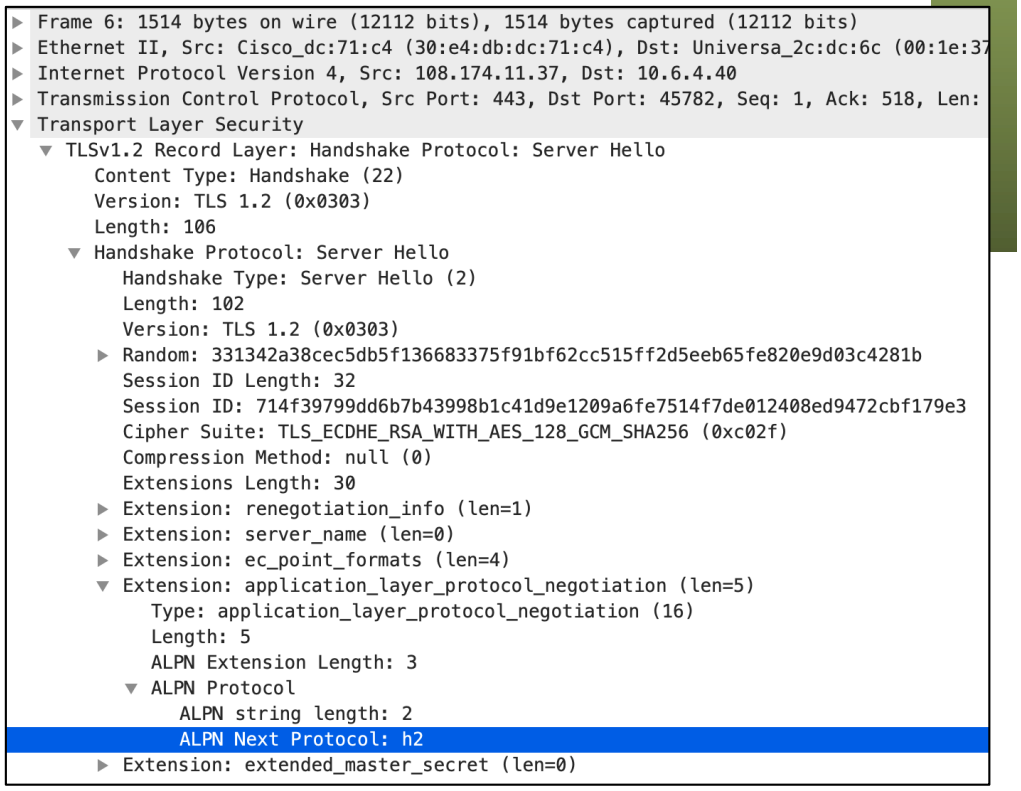
```
HTTP/1.1 200 OK
Content-length: 243
Content-type: text/html
(... HTTP 1.1 response ...)

 (or)
HTTP/1.1 101 Switching Protocols
Connection: Upgrade
Upgrade: HTTP/2.0
(... HTTP 2.0 response ...)
```

# HTTP/2

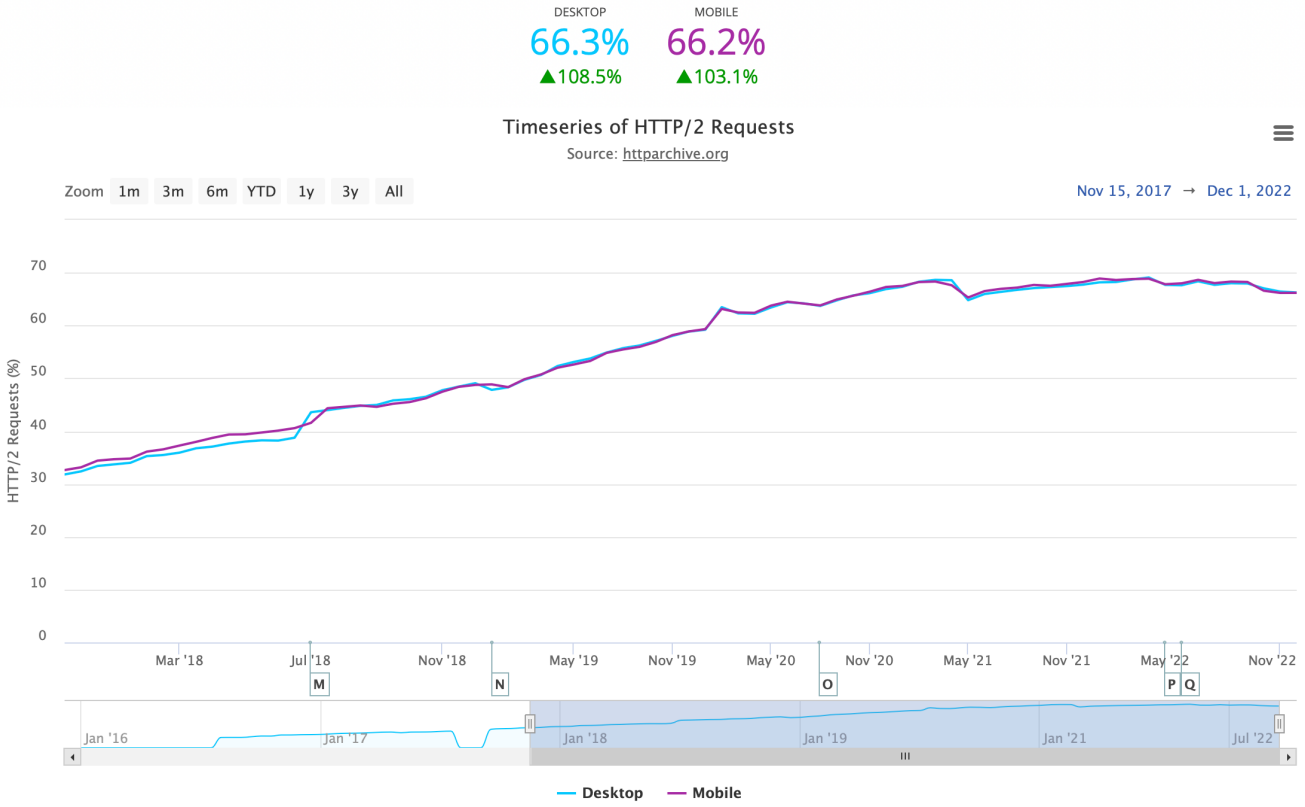
- Flow Control
  - Para cada *stream*
  - HTTP/2 no fuerza a un algoritmo para el control de flujo, solo lo soporta
- Negociación
  - Mediante mensajes se puede subir una conexión de HTTP1.1 a HTTP/2
  - Hoy en día solo se está usando HTTP/2 sobre TLS
  - Negociación mediante el ALPN en TLS



# HTTP/2: Status

- RFC aprobada (RFC7540 de 2015, *deprecated* por la 9113 en 2022)
- Múltiples implementaciones, en navegadores y servidores
- Soportado desde IE11, Firefox51, Chrome49, Safari10, Opera43, etc
- Soportado ya por muchas CDNs y hostings (ej: Akamai, Azure CDN, MaxCDN, KeyCDN, CacheFly, CloudFlare, Hawk host, etc)
- Estimaciones de que es empleado en el 39.8% de websites[1]




https://httparchive.org/reports/state-of-the-web#h2

[1] https://w3techs.com/technologies/details/ce-http2/all/all (Enero 2023)

# HTTP1.1 – HTTP/2

- Conexiones en paralelo
- *Domain sharding* (recursos en diferentes dominios)
- Unión de ficheros pequeños (CSS, Javascript, imágenes)
- Inline de ficheros con el HTML (imágenes)

# HTTP1.1 – HTTP/2

- Conexiones en paralelo
  - Consume más recursos en cliente, servidor, NATs, firewalls, etc
  - Acelera descarga por evitar HoL blocking
  - En H2 la multiplexación de streams resuelve el HoL blocking
- *Domain sharding* (recursos en diferentes dominios)
  - (...)
- Unión de ficheros pequeños (CSS, Javascript, imágenes)
- Inline de ficheros con el HTML (imágenes)

# HTTP1.1 – HTTP/2

- Conexiones en paralelo
  - Consume más recursos en cliente, servidor, NATs, firewalls, etc
  - Acelera descarga por evitar HoL blocking
  - En H2 la multiplexación de streams resuelve el HoL blocking
- *Domain sharding* (recursos en diferentes dominios)
  - Era para aumentar las conexiones en paralelo pero ahora están los streams
- Unión de ficheros pequeños (CSS, Javascript, imágenes)
  - (...)
- Inline de ficheros con el HTML (imágenes)

# HTTP1.1 – HTTP/2

- Conexiones en paralelo
  - Consume más recursos en cliente, servidor, NATs, firewalls, etc
  - Acelera descarga por evitar HoL blocking
  - En H2 la multiplexación de streams resuelve el HoL blocking
- *Domain sharding* (recursos en diferentes dominios)
  - Era para aumentar las conexiones en paralelo pero ahora están los streams
- Unión de ficheros pequeños (CSS, Javascript, imágenes)
  - Evitaba múltiples peticiones con problema HoL que ya está resuelto en H2
- Inline de ficheros con el HTML (imágenes)
  - (...)

# HTTP1.1 – HTTP/2

- Conexiones en paralelo
  - Consume más recursos en cliente, servidor, NATs, firewalls, etc
  - Acelera descarga por evitar HoL blocking
  - En H2 la multiplexación de streams resuelve el HoL blocking
- *Domain sharding* (recursos en diferentes dominios)
  - Era para aumentar las conexiones en paralelo pero ahora están los streams
- Unión de ficheros pequeños (CSS, Javascript, imágenes)
  - Evitaba múltiples peticiones con problema HoL que ya está resuelto en H2
- Inline de ficheros con el HTML (imágenes)
  - Evitaba tener que pedir ese recurso
  - Ahora se puede “empujar” (*push*) desde el servidor

- Otras mejoras:
  - Binario
  - Compresión de cabeceras
  - Control de flujo por stream
  - Prioridades

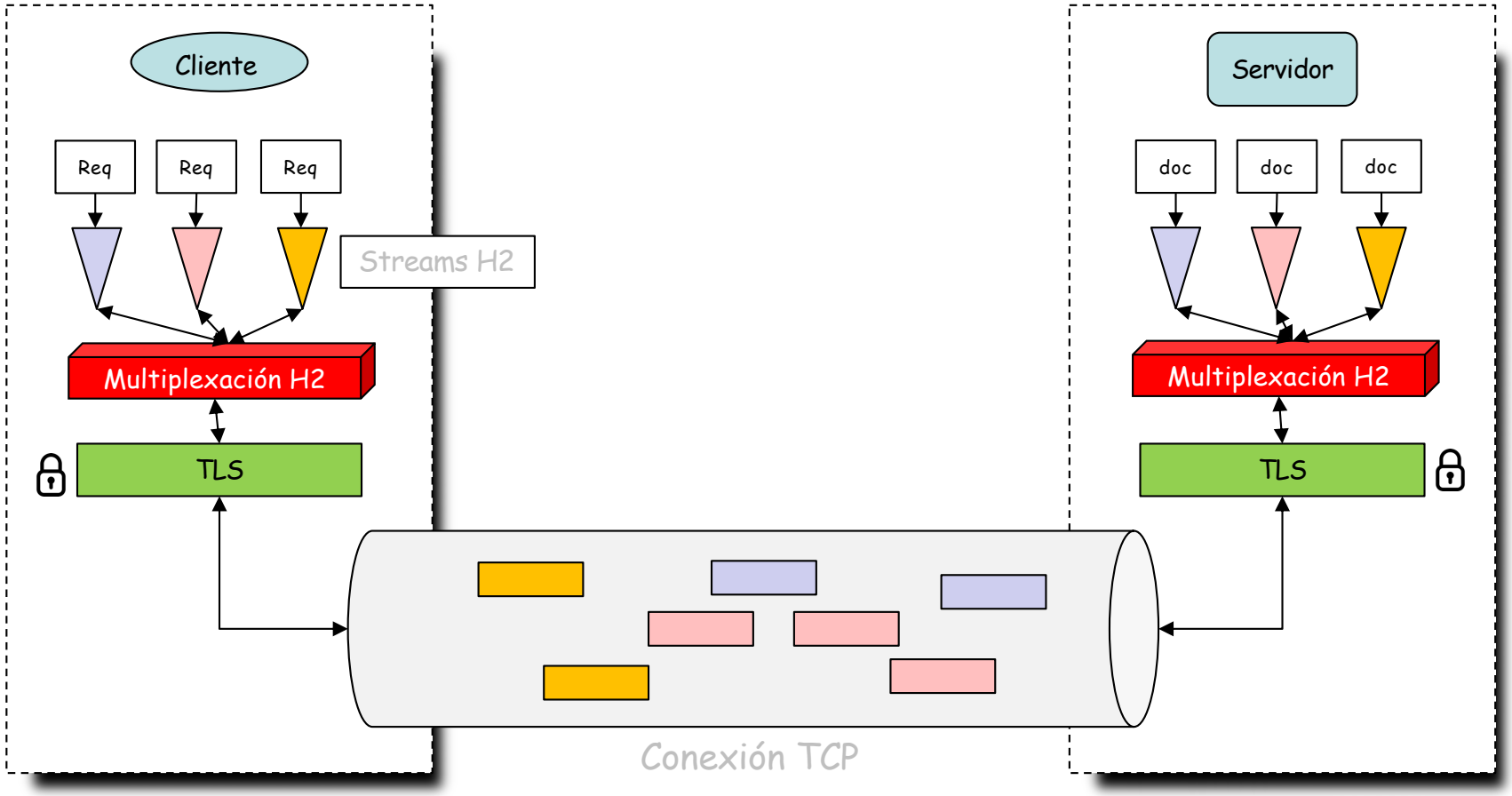
upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa
**Redes de Nueva Generación**
*Área de Ingeniería Telemática*

# HTTP/2 - Características

# HTTP/2 - Limitaciones

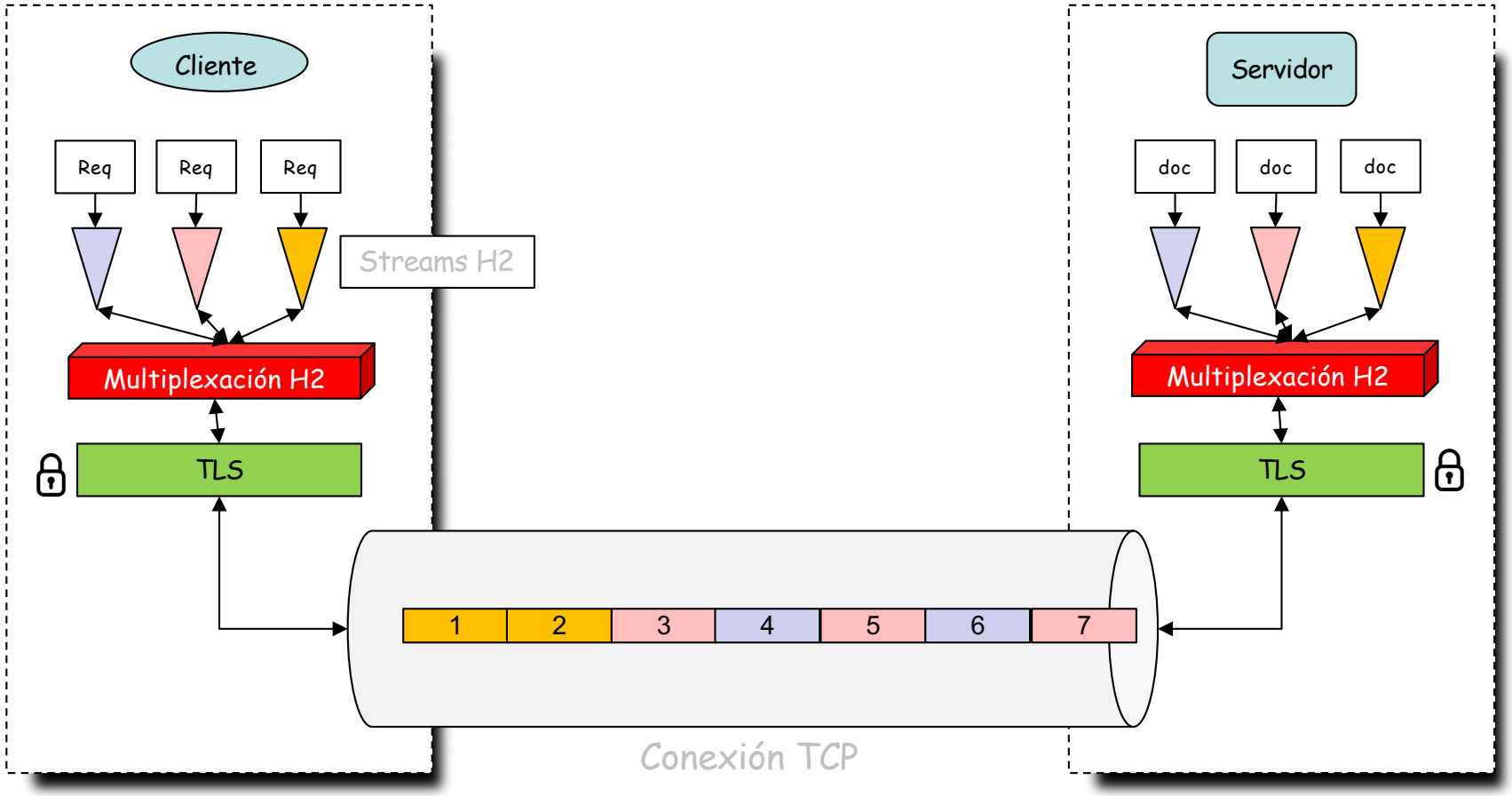
# HTTP/2 (H2)

- Multiplexación de streams elimina HOL blocking
- ¿De verdad?



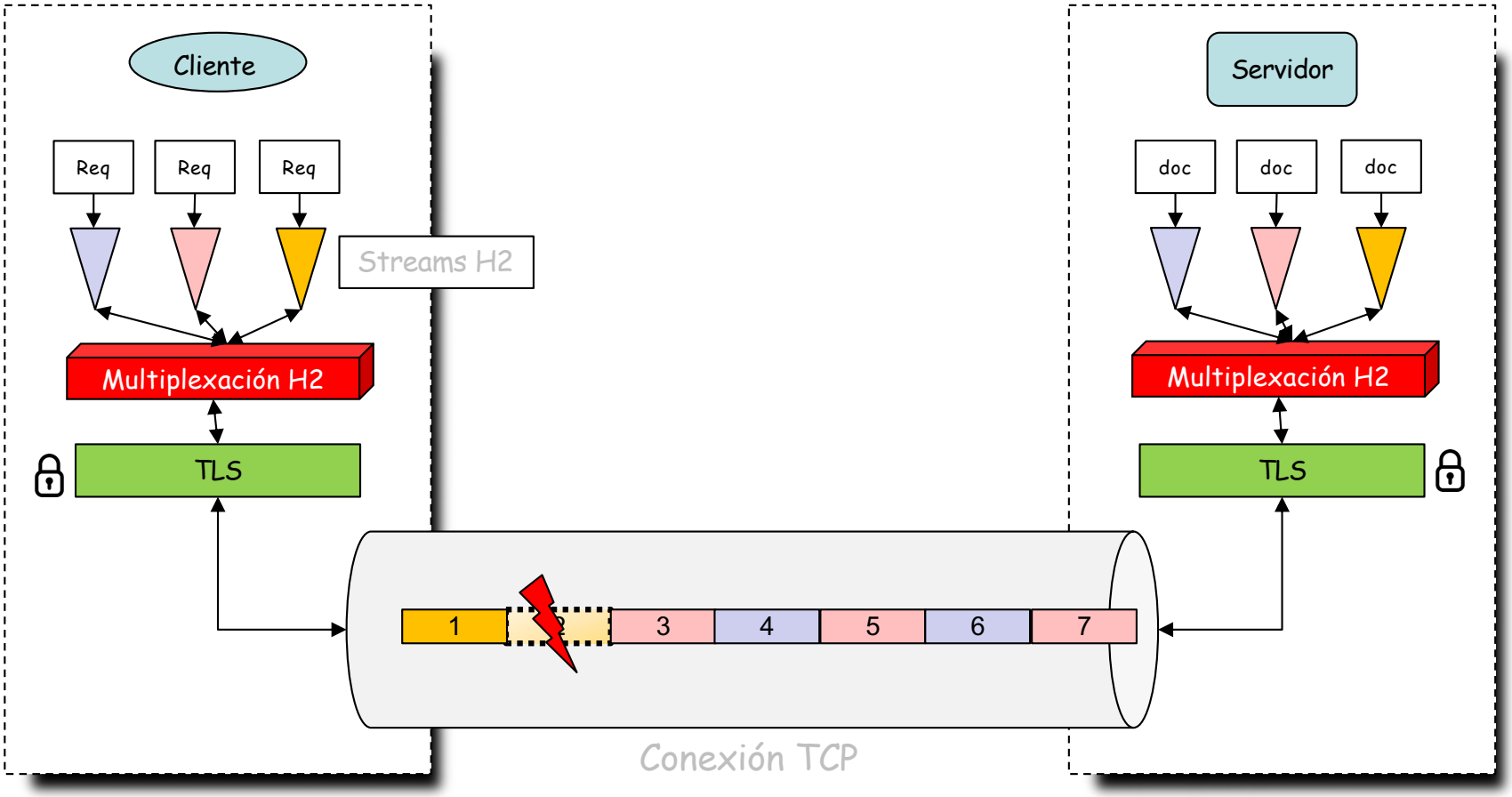
# HTTP/2 (H2)

- Emplea una conexión TCP, con 2 streams (uno en cada sentido)
- Cada stream es un flujo bytes ordenados
- (...)



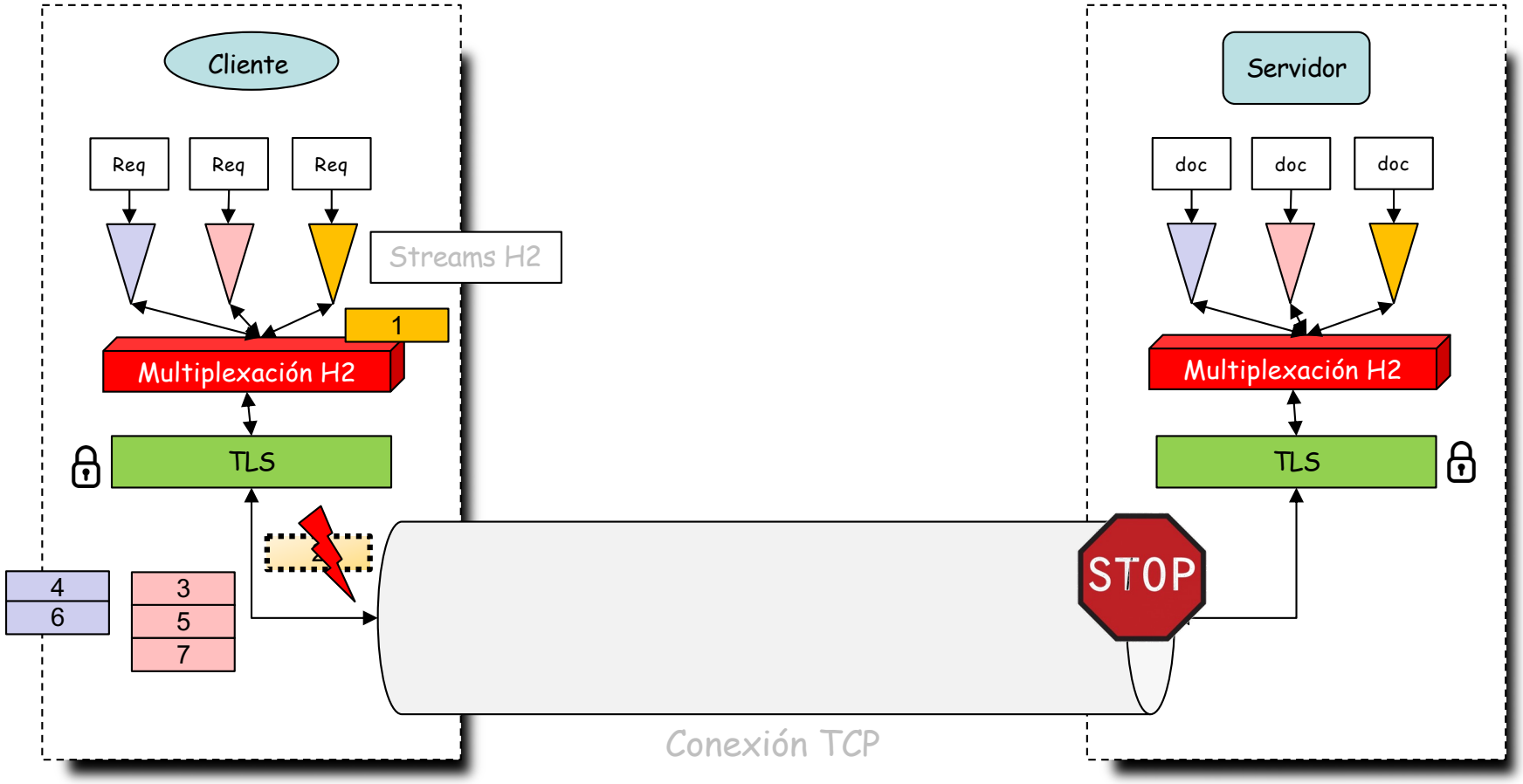
# HTTP/2 (H2)

- Emplea una conexión TCP, con 2 streams (uno en cada sentido)
- Cada stream es un flujo bytes ordenados
- ¿Qué sucede si hay una pérdida?
- (...)



# HTTP/2 (H2)

- No se entrega a la aplicación el resto de datos hasta “rellenar el hueco”
- La pérdida ha podido afectar solo a paquetes de un stream h2
- Pero afecta a todo el stream TCP y por lo tanto a todos los streams h2
- Además detiene todo el flujo (retransmisiones y control de congestión)
- Resuelto HOL blocking en nivel de aplicación pero no de transporte



# Otras limitaciones

- Demasiados RTTs
- Tiempo de establecimiento de la conexión TCP
- Tiempo de establecimiento de la sesión TLS

# RTTs con TCP

- 1 RTT establecimiento de la conexión TCP
- Aunque tenemos TCP Fast Open (RFC 7413)
  - Permite entregar a la aplicación datos que llegan con el SYN
  - Pero tiene escaso despliegue (modifica TCP y problemas con middleboxes)
- (...)

# RTTs con TCP

- 2 RTTs para establecer la sesión TLS
- Aunque tenemos
  - Sesiones
  - Tickets
  - 0-RTT con TLS 1.3 (Early data)

Sesiones

| No. | Time | Source | Destination | Info |
|---|---|---|---|---|
| 34 | 24.1546… | 192.168.1.101 | 192.168.1.48 | 51068 → 443 [SYN] Seq=0 Win=65535 Len=0 MSS=1460 WS=64 TSval=166072007 |
| 35 | 24.1546… | 192.168.1.48 | 192.168.1.101 | 443 → 51068 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=28960 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM= |
| 36 | 24.1548… | 192.168.1.101 | 192.168.1.48 | 51068 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=131712 Len=0 TSval=1660720071 TSecr= |
| 37 | 24.1557… | 192.168.1.101 | 192.168.1.48 | Client Hello |
| 38 | 24.1557… | 192.168.1.48 | 192.168.1.101 | 443 → 51068 [ACK] Seq=1 Ack=518 Win=30080 Len=0 TSval=2312132065 TSecr |
| 39 | 24.1563… | 192.168.1.48 | 192.168.1.101 | Server Hello, Change Cipher Spec, Finished |
| 40 | 24.1564… | 192.168.1.101 | 192.168.1.48 | 51068 → 443 [ACK] Seq=518 Ack=181 Win=131584 Len=0 TSval=1660720072 TS |
| 41 | 24.1566… | 192.168.1.101 | 192.168.1.48 | Change Cipher Spec, Finished |
| 42 | 24.1578… | 192.168.1.101 | 192.168.1.48 | GET / HTTP/1.1 |
| 43 | 24.1578… | 192.168.1.48 | 192.168.1.101 | 443 → 51068 [ACK] Seq=181 Ack=1126 Win=31104 Len=0 TSval=2312132067 TS |
| 44 | 24.1584… | 192.168.1.48 | 192.168.1.101 | HTTP/1.1 200 OK  (text/html) |
| 45 | 24.1586… | 192.168.1.101 | 192.168.1.48 | 51068 → 443 [ACK] Seq=1126 Ack=3077 Win=128640 Len=0 TSval=1660720074 |
| 46 | 24.1586… | 192.168.1.101 | 192.168.1.48 | 51068 → 443 [ACK] Seq=1126 Ack=3812 Win=127936 Len=0 TSval=1660720074 |

Early Data

| No. | Time | Source | Destination | Info |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.000000 | 10.20.0.19 | 104.17.143.23 | 51052 → 443 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1 TSv |
| 2 | 0.015794 | 104.17.143.23 | 10.20.0.19 | 443 → 51052 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1400 SACK |
| 3 | 0.015811 | 10.20.0.19 | 104.17.143.23 | 51052 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=64256 Len=0 |
| 4 | 0.017129 | 10.20.0.19 | 104.17.143.23 | Client Hello |
| 5 | 0.017284 | 10.20.0.19 | 104.17.143.23 | Change Cipher Spec |
| 6 | 0.017343 | 10.20.0.19 | 104.17.143.23 | GET /v4/assets/sidebar-lightarrow.svg HTTP/1.1 |
| 7 | 0.033849 | 104.17.143.23 | 10.20.0.19 | 443 → 51052 [ACK] Seq=1 Ack=598 Win=67584 Len=0 |
| 8 | 0.033859 | 104.17.143.23 | 10.20.0.19 | 443 → 51052 [ACK] Seq=1 Ack=604 Win=67584 Len=0 |
| 9 | 0.033861 | 104.17.143.23 | 10.20.0.19 | 443 → 51052 [ACK] Seq=1 Ack=1037 Win=68608 Len=0 |
| 10 | 0.038601 | 104.17.143.23 | 10.20.0.19 | Server Hello, Change Cipher Spec, Encrypted Extensions, Finished |
| 11 | 0.038616 | 10.20.0.19 | 104.17.143.23 | 51052 → 443 [ACK] Seq=1037 Ack=689 Win=64128 Len=0 |
| 12 | 0.039258 | 10.20.0.19 | 104.17.143.23 | End of Early Data, Finished |
| 13 | 0.053534 | 104.17.143.23 | 10.20.0.19 | [TLS segment of a reassembled PDU] |
| 14 | 0.053547 | 104.17.143.23 | 10.20.0.19 | HTTP/1.1 200 OK |

# Otras limitaciones

- Demasiados RTTs
- Tiempo de establecimiento de la conexión TCP
- Tiempo de establecimiento de la sesión TLS
- La aplicación no puede sacar provecho a múltiples interfaces en el host

# ¿Soluciones?

- Cambiar el nivel de transporte
- RFC 4960 Stream Control Transmission Protocol
- Diseñado para el transporte de la señalización de la red telefónica
- Ofrece:
  - Transporte fiable (acknowledged error-free non-duplicated)
  - Multiplexación de sub-streams
  - Transporte ordenado dentro de cada stream
  - Entrega mensajes en lugar de un byte stream
  - Segmentación
  - Multi-homing
  - Congestion avoidance
  - Flow control

# Problemas con SCTP

- Implementarlo en los sistemas operativos de los hosts
- Implementarlo en los NATs
- Diferente API

- HTTP/2: Protocolo de señalización empleado en la red 5G

# HTTP/2 - Limitaciones

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**Redes de Nueva Generación**
*Área de Ingeniería Telemática*

# HTTP/2