

Tecnología Digital IV: Redes de Computadoras

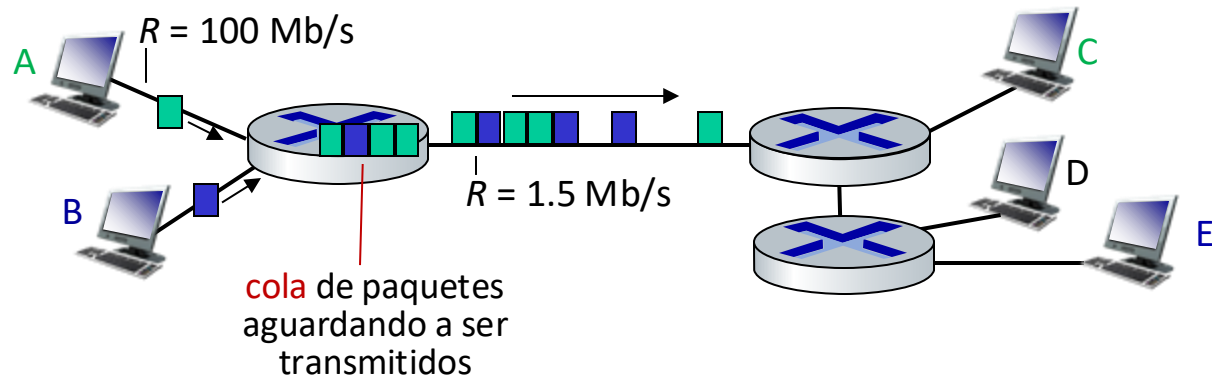
Clase 2: Introducción a las Redes de Computadoras - Parte 2

Lucio Santi & Emmanuel Iarussi

Licenciatura en Tecnología Digital
Universidad Torcuato Di Tella

11 de marzo de 2025

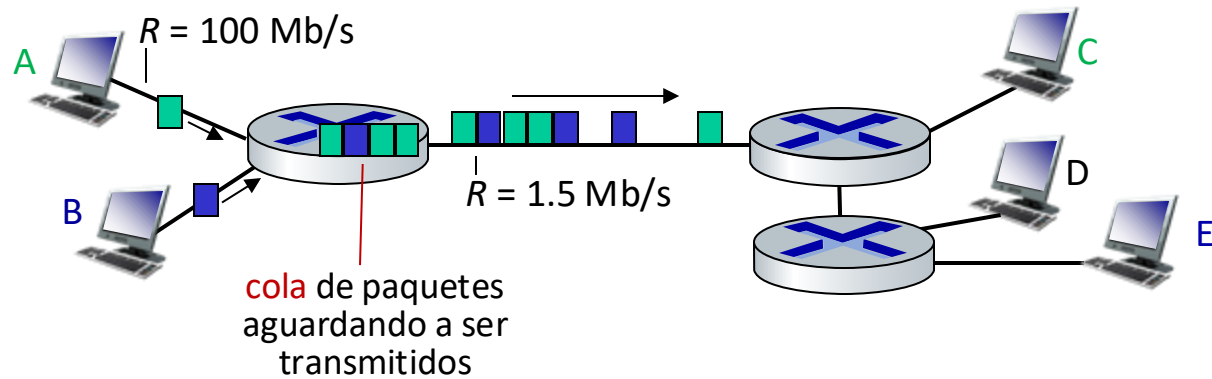
Encolamiento de paquetes



El **encolamiento** sucede cuando el trabajo llega más rápido que lo que puede ser atendido



Encolamiento de paquetes



Encolamiento y pérdida de paquetes

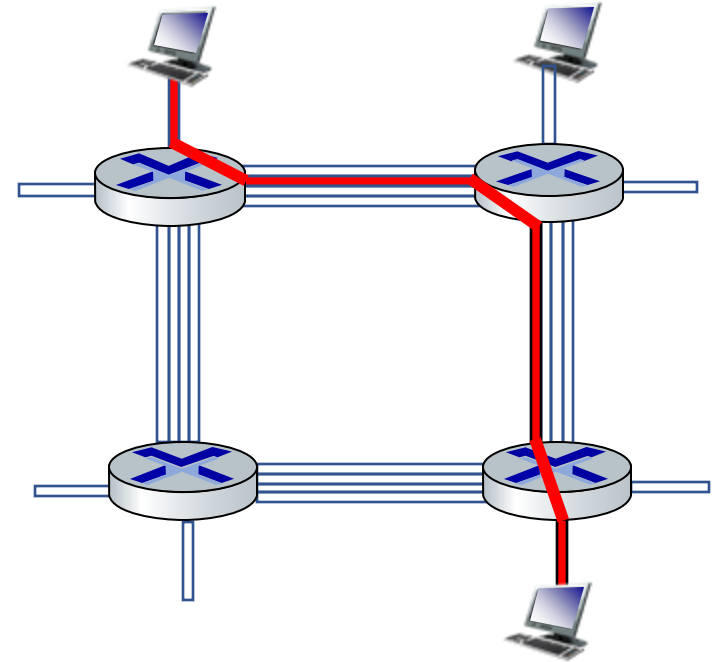
Si la tasa de arribo al *packet switch* (en bps) supera a la tasa de transmisión durante un período de tiempo...

- Se encolarán paquetes esperando a ser transmitidos
- Podrían descartarse paquetes si la memoria se satura

Circuit switching: conmutación de circuitos

Se produce una **reserva previa de recursos** para la comunicación entre dos interlocutores

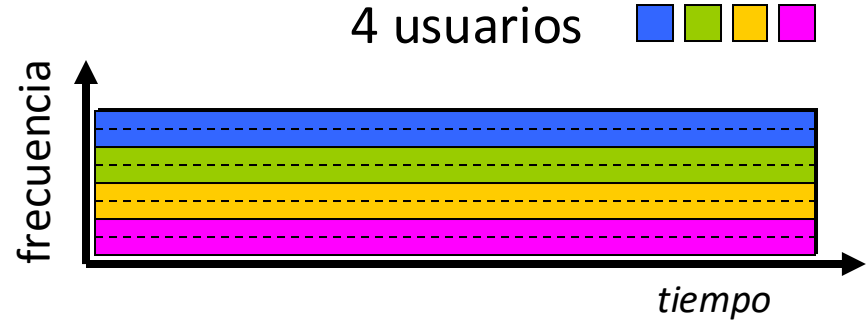
- En la figura, cada enlace posee cuatro circuitos. La conexión destacada emplea el segundo circuito del enlace superior y el primero del enlace derecho
- **Recursos dedicados**, no compartidos
- Un circuito permanece inactivo si no está siendo utilizado en una conexión
- Usualmente utilizado en las redes telefónicas



Circuit switching: FDM y TDM

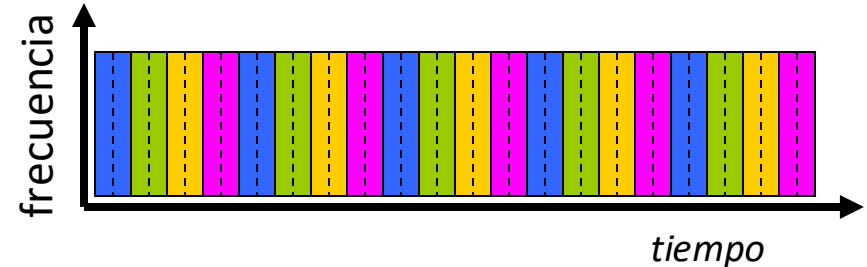
Multiplexación por División de Frecuencia (FDM)

- Ancho de banda total dividido en bandas de frecuencias
- Cada conexión recibe su propia banda



Multiplexación por División de Tiempo (TDM)

- Tiempo dividido en intervalos (*slots*)
- Cada conexión recibe intervalos periódicos durante las cuales puede transmitir empleando todo el ancho de banda

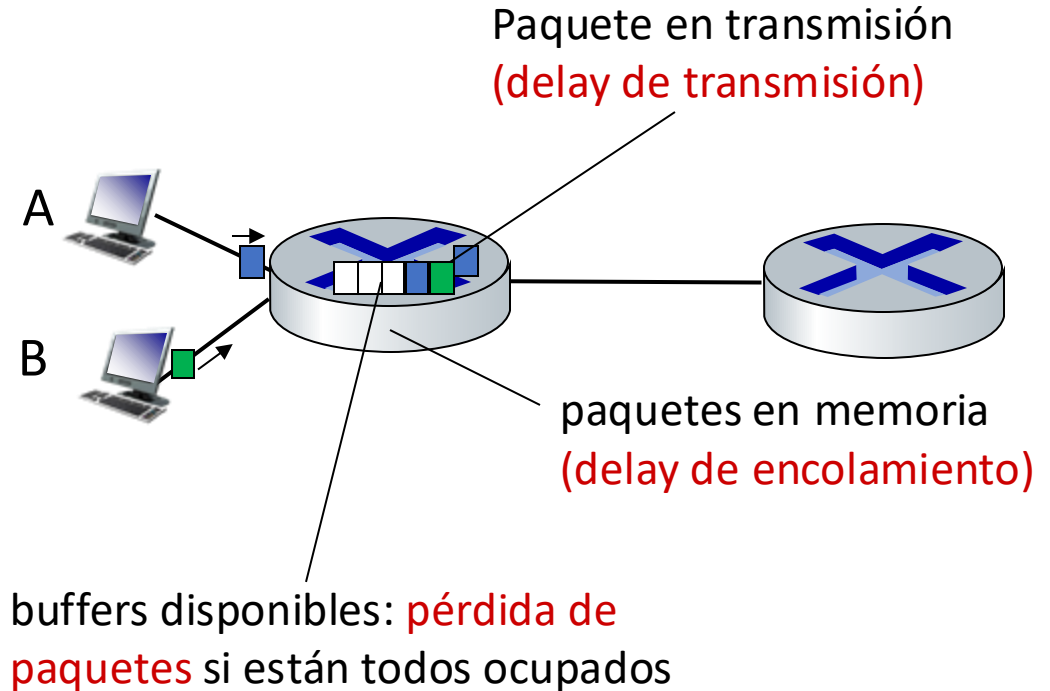


Conmutación de paquetes vs. circuitos

- Conmutación de paquetes: ideal para datos “en ráfagas” (i.e. donde no siempre hay datos para transmitir)
 - Recursos compartidos
 - No precisa una etapa de reserva de recursos
- Pasible de sufrir **congestión**: latencias altas y pérdidas de paquetes por buffers saturados
 - Se debe contar con protocolos **confiables** y con **control de congestión**

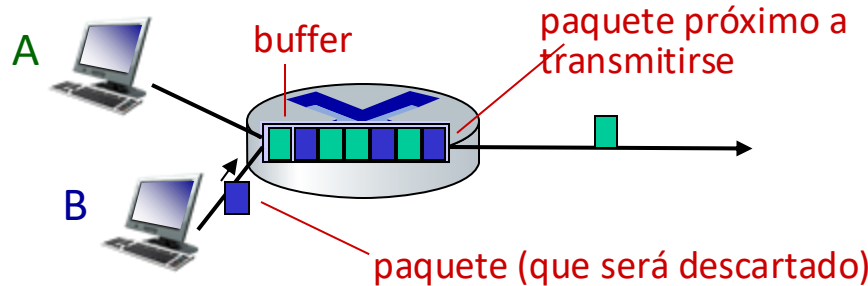
Delay y pérdida de paquetes

- Los paquetes se **encolan** en los routers esperando a ser transmitidos
 - La cola crece cuando la tasa de arribo de paquetes supera a la capacidad de transmisión
- Los paquetes se **pierden** si se satura la memoria para almacenar los paquetes por transmitir

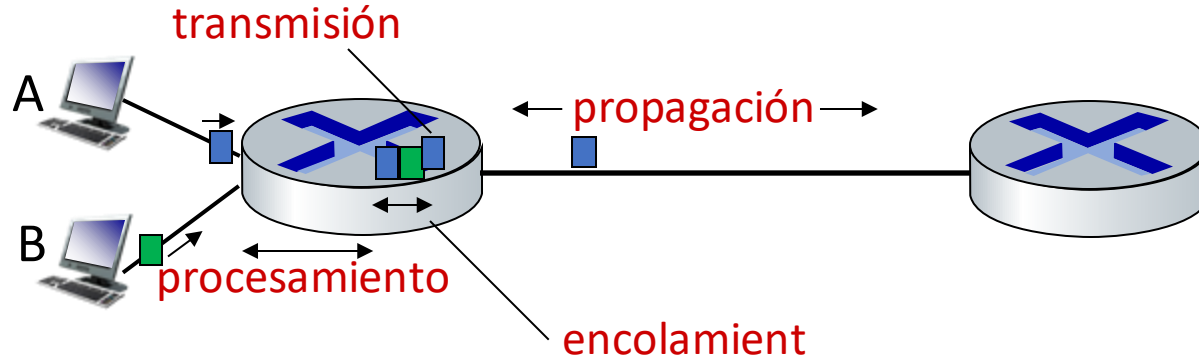


Pérdida de paquetes

- Los buffers en la memoria de los routers tienen **capacidad finita**
- Si un nuevo paquete encuentra los buffers completos, se descarta y se pierde
- Este paquete perdido puede ser (o no) retransmitido



Tipos de latencia



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

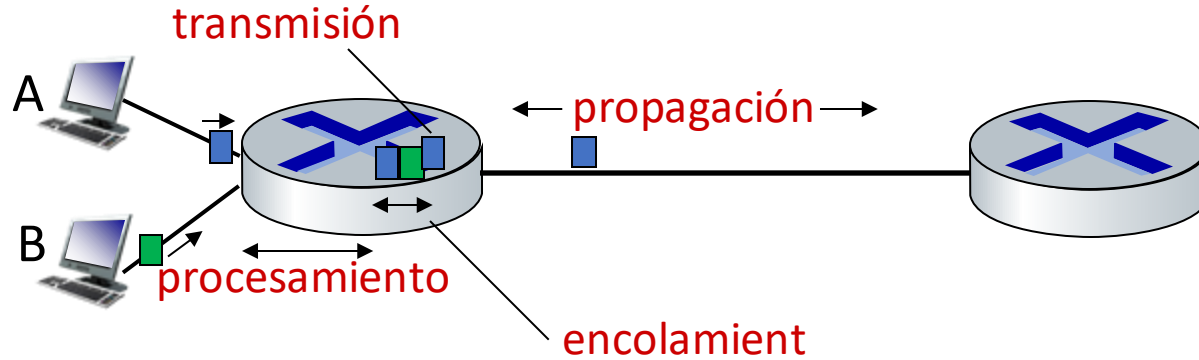
d_{proc} : delay de procesamiento

- Tiempo de examinar header, decidir enlace de salida, etc
- Se mide en microsegundos

d_{queue} : delay de encolamiento

- Tiempo de espera en los buffers del enlace de salida hasta ser transmitido
- Depende de la congestión en el router

Tipos de latencia



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{trans} : delay de transmisión

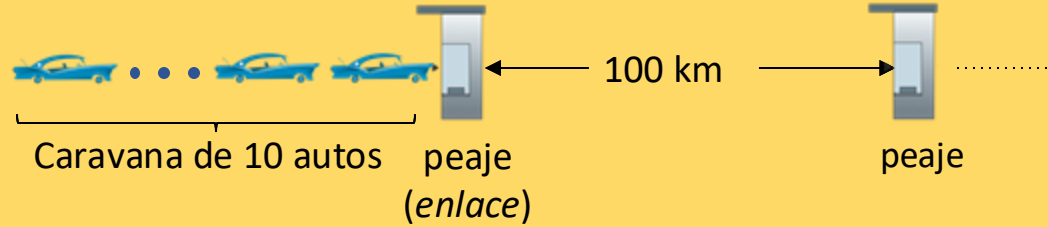
- L / R (L : longitud del paquete en bits; R : tasa de transmisión en bps)

d_{prop} : delay de propagación

- d / s (d : longitud del enlace físico; s : velocidad de propagación en dicho medio)

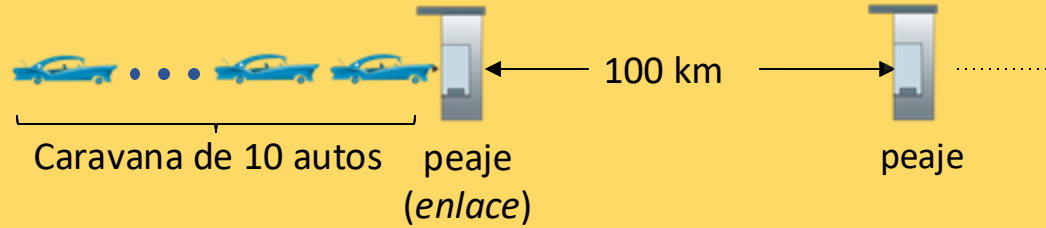
Estas dos magnitudes son muy distintas!

Ejercicio!



- Supongamos lo siguiente:
- La cabina de peaje demora 12 segundos en atender un auto
- Los autos se “propagan” a 100 km/h
- ¿Cuánto tiempo pasa hasta que la caravana queda alineada en la segunda cabina?

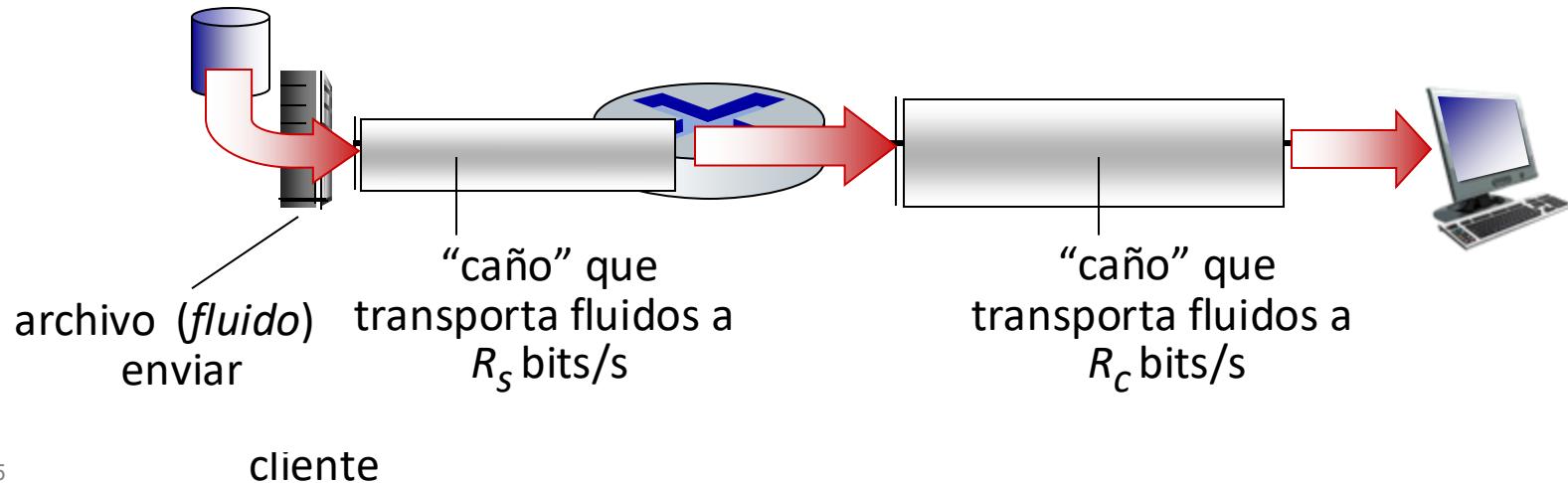
Ejercicio!



- Supongamos lo siguiente:
- La cabina de peaje demora 12 segundos en atender un auto
- Los autos se “propagan” a 100 km/h
- ¿Cuánto tiempo pasa hasta que la caravana queda alineada en la segunda cabina?
- Tiempo para pasar a todos los autos por la cabina:
 $12 \times 10 = \mathbf{120 \text{ segundos}}$
- Tiempo para “propagar” al último auto a la segunda cabina:
 $100\text{km} / (100\text{km/h}) = \mathbf{1 \text{ h}}$
- Entonces, **62 minutos** en total

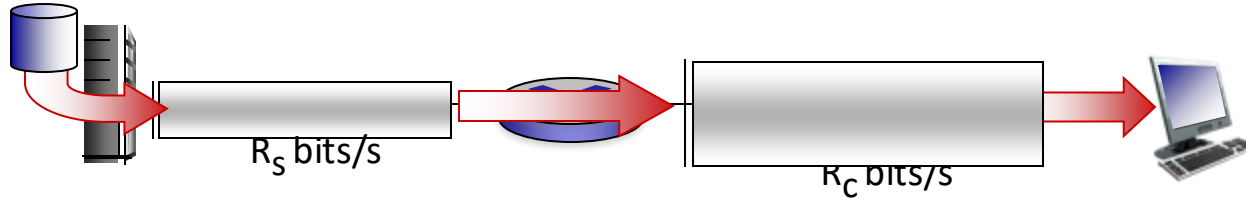
Tasa de transferencia (*throughput*)

- Es la cantidad efectiva de bits por unidad de tiempo (b/s) a la que se está recibiendo un archivo.
 - *instantáneo*: en un punto dado del tiempo
 - *medio*: a lo largo de un período de tiempo prolongado

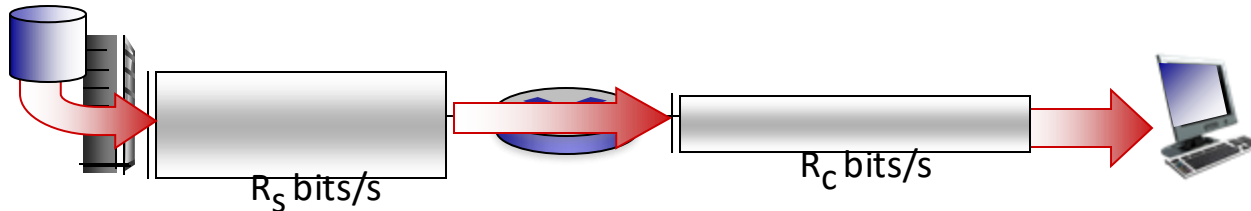


Throughput

$R_s < R_c$ ¿Cuál es el throughput *end-to-end* medio?



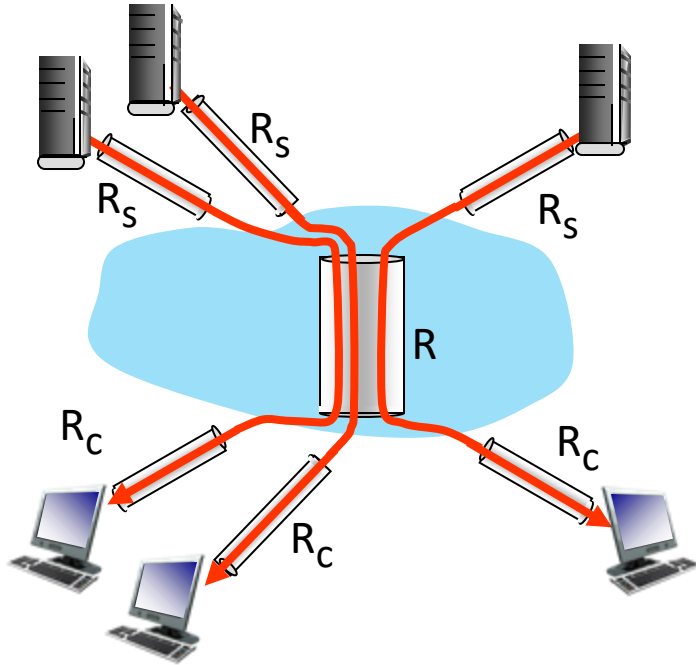
$R_s > R_c$ ¿Cuál es el throughput *end-to-end* medio?



Cuello de botella - *bottleneck*

enlace que limita el *throughput* end-to-end

Throughput: ejemplo basado en Internet



10 conexiones comparten de forma equitativa el enlace *backbone* de R bits/s

- Throughput por conexión $\min(R_c, R_s, R/10)$
- En la práctica, R_c o R_s suelen ser los cuellos de botella

Protocolos, capas y estructura

Las redes son **complejas** y contemplan diversos elementos:

- hosts
- routers
- enlaces (de distintos tipos)
- aplicaciones
- protocolos
- hardware, software

¿Cómo podemos organizar la estructura de una red de computadoras?

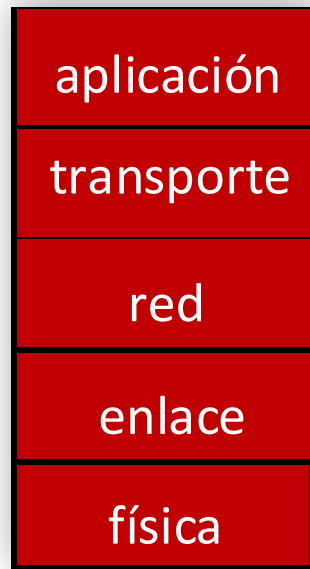
Organización en capas (*layers*)

Enfoque para abordar el diseño de sistemas complejos

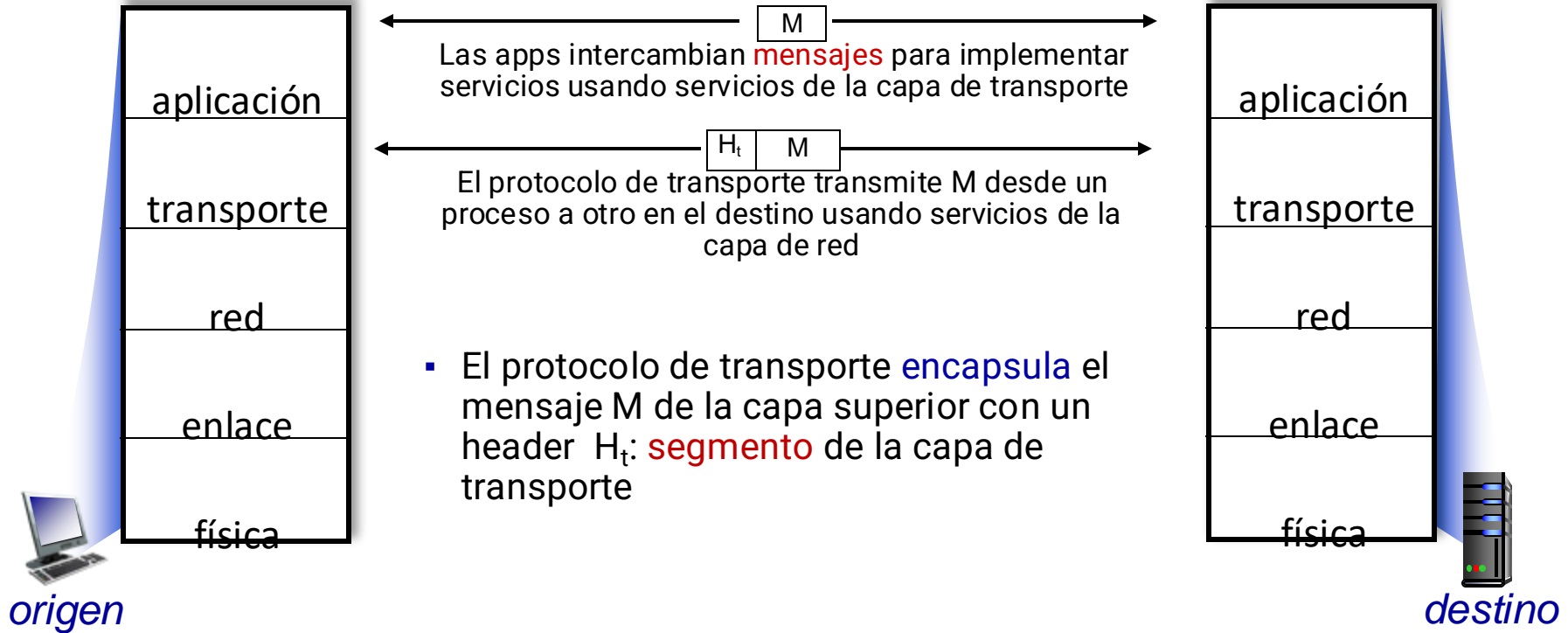
- Una **estructura explícita** permite identificar y vincular los componentes del sistema
 - Modelo de referencia organizado en capas
- La **modularización** facilita el mantenimiento del sistema
 - Los cambios en las implementaciones de una capa son transparentes para el resto del sistema

Stack de protocolos de Internet

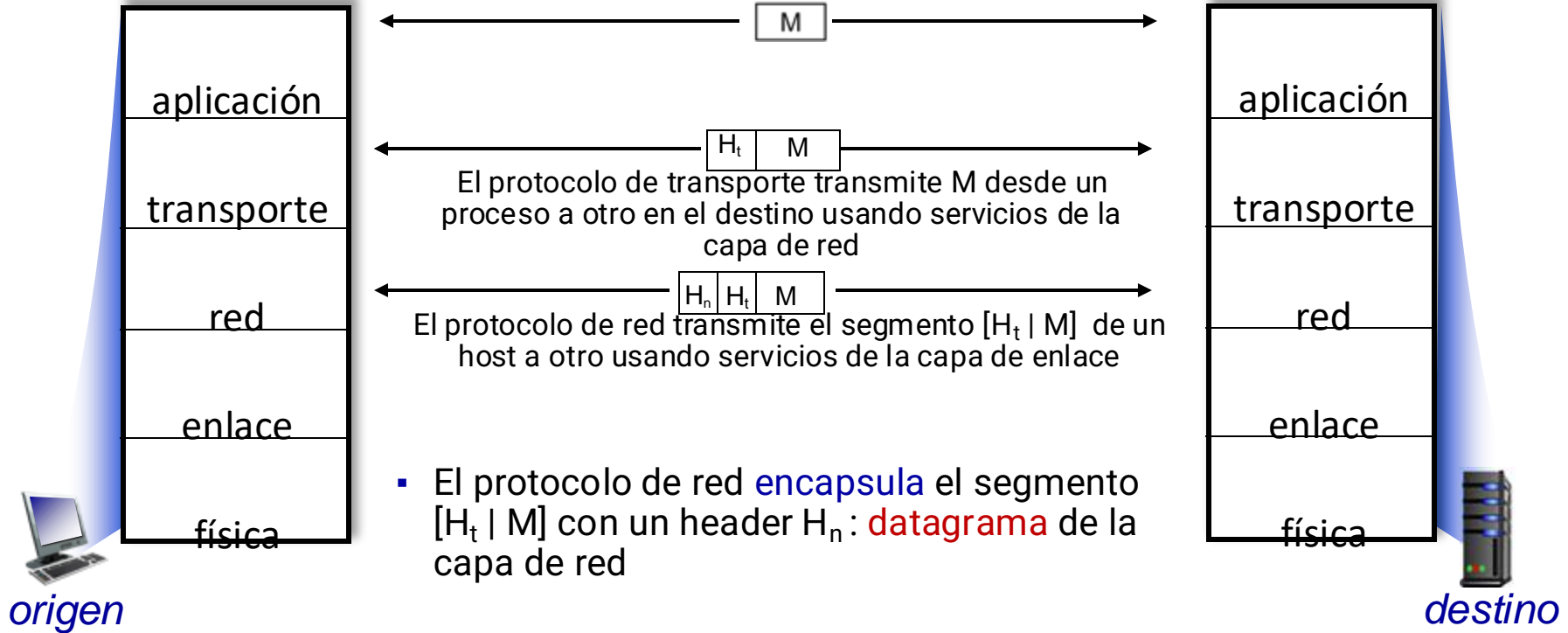
- **Capa de aplicación**
 - Soporte para aplicaciones (HTTP, FTP, IMAP, SMTP, DNS)
- **Capa de transporte**
 - Transferencia de datos entre procesos (TCP, UDP)
- **Capa de red**
 - Ruteo de datagramas de origen a destino (IP, OSPF, BGP)
- **Capa de enlace**
 - Transferencia de datos entre dispositivos de red adyacentes (Ethernet, 802.11 (WiFi))
- **Capa física**
 - Transferencia de bits en el medio físico



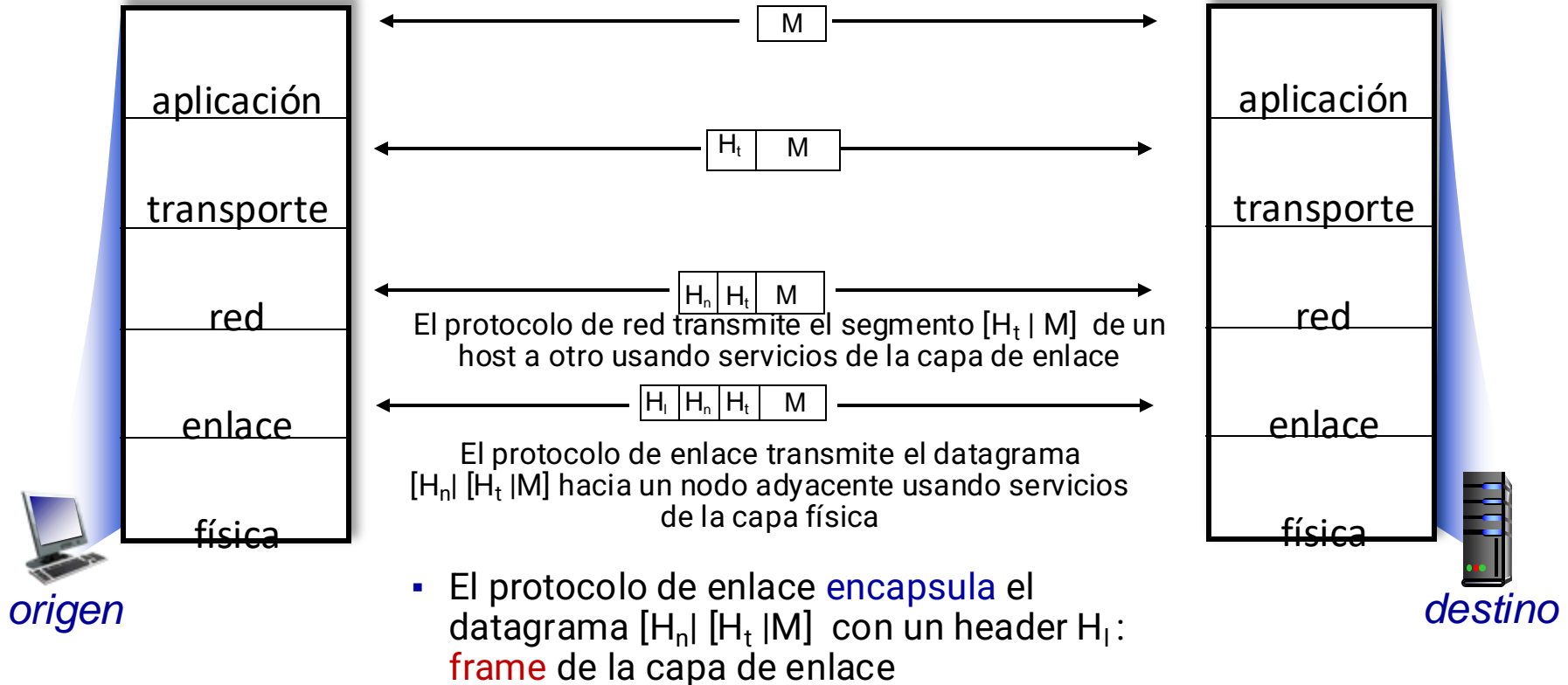
Servicios, capas y encapsulamiento



Servicios, capas y encapsulamiento



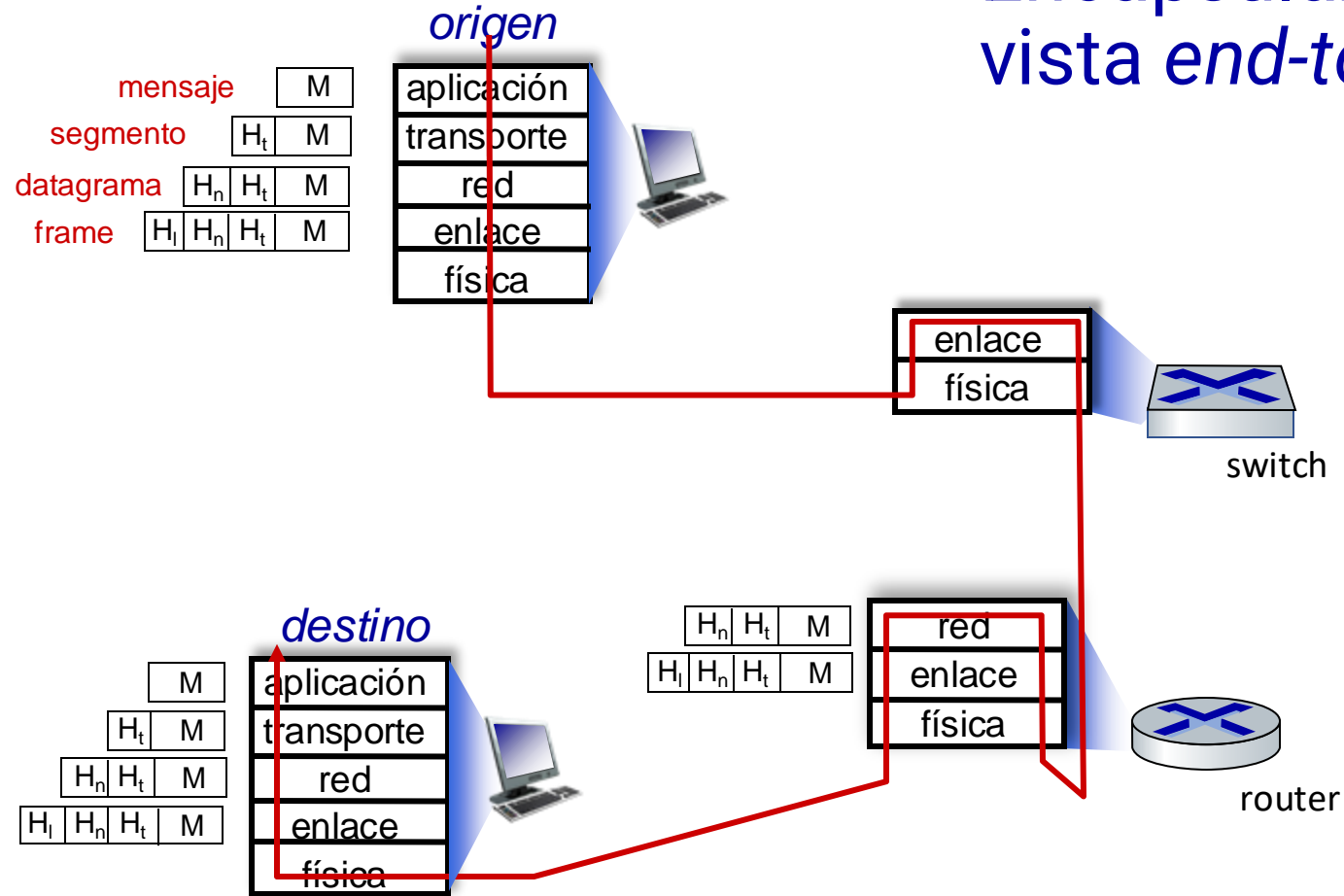
Servicios, capas y encapsulamiento



Un vuelo en capas



Encapsulamiento: vista *end-to-end*



Historia de Internet

1961-1972: principios de conmutación de paquetes

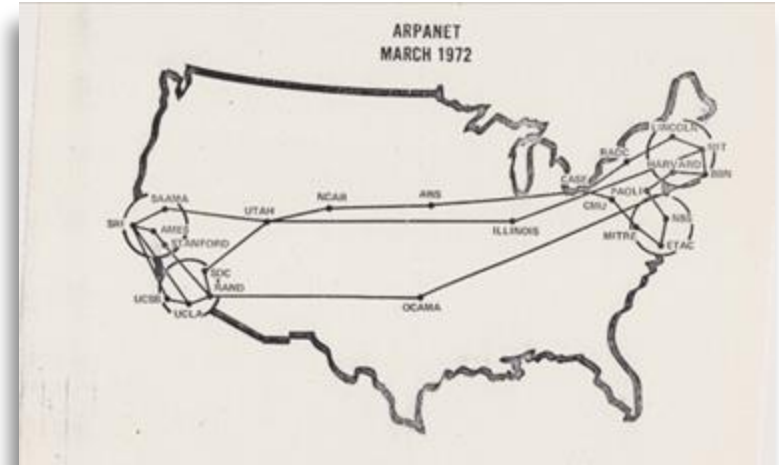
- **1961:** Kleinrock (MIT) muestra eficacia utilizando teoría de colas
- **1964:** Paul Baran (RAND Institute) investiga sobre su uso en redes militares.
- **1967:** surgimiento de ARPAnet (ancestro de la Internet moderna)
- **1969:** primer switch de ARPAnet operacional (cuatro nodos al final del año)



Historia de Internet

1961-1972: principios de conmutación de paquetes

- 1972:
 - Primera demo pública de ARPAnet
 - Uso de NCP (*Network Control Protocol*): protocolo entre hosts
 - Primer software de e-mails sobre NCP



Historia de Internet

1972-1980: redes propietarias e *Internetworking*

- **1970s:** surgen otras redes como ALOHAnet (red satelital para conectar universidades en Hawaii)
- **1974:** Cerf y Kahn delinean fundamentos de interconexión de redes –***internetting***
- **1975:** Ethernet (Xerox PARC)
- **1979:** ARPAnet alcanza los 200 nodos

Principios de *internetworking* de Cerf y Kahn:

- Minimalismo y autonomía
- Servicio *best-effort*
- Ruteo *stateless*
- Control descentralizado

Los principios definen la arquitectura de la Internet moderna (TCP)

Historia de Internet

1980-1990: proliferación de redes



Minitel, France, early 1980s (research started 1978)



TCP

Historia de Internet

1990, 2000s: el boom de Internet

- Principios de 1990s: ARPAnet decomisada
- 1991: NSF permite usos comerciales de NSFnet (decomisada en 1995)
- Principios de 1990s: la Web
 - Hipertexto [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic (Netscape)
 - Fines de 1990s: comercialización de la Web



1990

- Pri de
- 19 co (de
- Pri
 - H 1
 - H
 - 1
 - E

la vweb

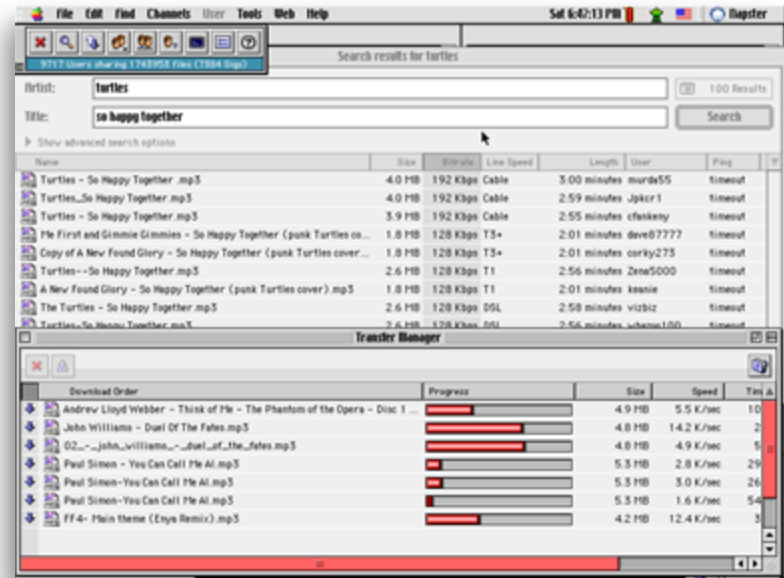


Historia de Internet

1990, 2000s: el boom de Internet

Fines de 1990s – 2000s:

- Nuevas aplicaciones: mensajería instantánea, P2P *file sharing* (Napster)
- Más atención a seguridad en redes
- Alrededor de 50 millones de hosts (más de 100 millones de usuarios)
- Enlaces backbone con velocidades en los Gbps

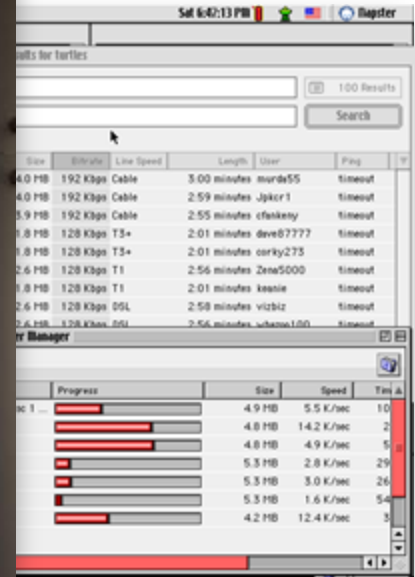


Historia de I

1990, 2000s: el boom

Fines de 1990s – 2000s

- Nuevas aplicaciones de Internet: comercio electrónico, P2P file sharing (Napster)
- Más atención a seguridad
- Alrededor de 50 millones de usuarios (más de 100 millones en 2000)
- Enlaces backbone de fibra óptica en los Gbps



Historia de Internet

2005-presente: escalabilidad, movilidad, la nube

- Despliegue masivo de accesos de banda ancha en hogares (10-100s Mbps)
- Acceso inalámbrico de alta velocidad (WiFi, 4G/5G)
- Redes de proveedores de servicios y contenidos (e.g. Google)
 - Conexiones próximas a usuarios finales: acceso “instantáneo” a contenido multimedia, redes sociales, etc.
- Servicios en la nube (e.g. AWS, GCP)
- Surgimiento de *smartphones*: más dispositivos móviles que fijos en Internet more mobile than fixed devices on Internet (2017)
- ~18 miles de millones de dispositivos conectados a Internet (2017)