


Universidad de Alcalá

Departamento de Automática

# Capítulo 1 Introducción



**Redes de Computadores: Un enfoque descendente, 5ª edición.**  
Jim Kurose, Keith Ross  
Pearson Educación, 2010.

A note on the use of these ppt slides:  
We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a lot of work on our part. In return for use, we only ask the following:  
 ◊ If you use these slides (e.g., in a class) in substantially unaltered form, that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)  
 ◊ If you post any slides in substantially unaltered form on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

Thanks and enjoy! JFK/KWR  
All material copyright 1996-2010  
J.F. Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez

Introducción 1-1

Universidad de Alcalá

Departamento de Automática

# Capítulo 1: Introducción

**Nuestro objetivo:**

- familiarizarse y aprender la terminología
- más profundidad y detalle **más adelante**
- método:
  - Internet como ejemplo

**Resumen:**

- ¿Qué es Internet?
- ¿Qué es un protocolo?
- La frontera de la red: terminales, redes de acceso, medios físicos
- Núcleo de la red: conmutación de paquetes/circuitos, estructura de Internet
- Rendimiento: pérdidas, retardos, tasa de transferencia
- Seguridad
- Capas de protocolo, modelos de servicio
- Historia

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez

Introducción 1-2

Universidad de Alcalá

Departamento de Automática

# Capítulo 1: hoja de ruta

- 1.1 ¿Qué es Internet?
- 1.2 Frontera de la red
  - terminales, redes de acceso, enlaces
- 1.3 Núcleo de la red
  - conmutación de circuitos, conmutación de paquetes, estructura de la red
- 1.4 Retardos, pérdidas y tasa de transferencia en las redes de conmutación de paquetes
- 1.5 Capas de protocolos y modelos de servicio
- 1.6 Ataques a las redes: seguridad
- 1.7 Historia

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez

Introducción 1-3

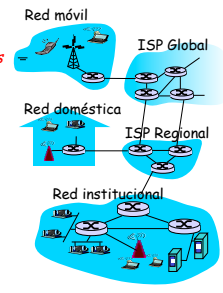
Universidad de Alcalá

Departamento de Automática

# Qué es la red: componentes esenciales

- PC
- servidor
- portátil WiFi
- móvil
- puntos de acceso
- enlaces cableados
- router

- Millones de dispositivos conectados: **terminales**
  - que ejecutan aplicaciones de red
- enlaces de comunicación
  - fibra, cobre,
  - radio, satélite
  - tasa de transmisión: ancho de banda
- Routers:** envían paquetes (porciones de datos)



v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez

Introducción 1-4

Universidad de Alcalá

Departamento de Automática

# Dispositivos internet curiosos



Marco fotos IP  
<http://www.ceiva.com/>



Tostadora con web + predicción del tiempo



Frigorífico internet



Slingbox: ver y controlar TV por cable a distancia



Teléfonos Internet

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez

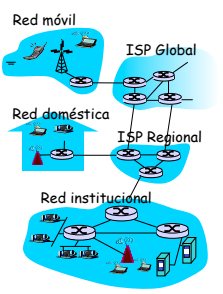
Introducción 1-5

Universidad de Alcalá

Departamento de Automática

# Qué es la red: componentes esenciales

- Protocolos:** controlan envío y recepción de mensajes
  - P.ej.: TCP, IP, HTTP, Skype, Ethernet
- Internet: "red de redes"**
  - Jerárquica y flexible
  - Internet pública frente a intranet privada
- Estándares de internet**
  - RFC: Request for comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



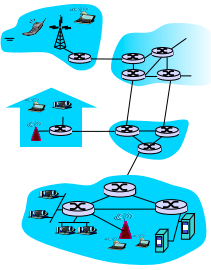
v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez

Introducción 1-6

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Qué es Internet: descripción de los servicios

- ❖ **Infraestructura de comunicación** permite aplicaciones distribuidas:
  - Web, VoIP, email, juegos, comercio electrónico, archivos compartidos
- ❖ **servicios de comunicación proporcionados a las aplicaciones:**
  - envío fiable de datos de fuente a destino
  - envío de datos "lo mejor posible" (o sea, no fiable)



v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-7

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## ¿Qué es un protocolo?

**protocolos humanos :**

- ❖ "¿Qué hora es?"
- ❖ "Tengo una pregunta"
- ❖ presentaciones

... se envían mensajes específicos

... se realizan acciones específicas cuando se reciben mensajes, u otros eventos

**protocolos de red:**

- ❖ máquinas, más bien que humanos
- ❖ toda la comunicación en internet gobernada por protocolos

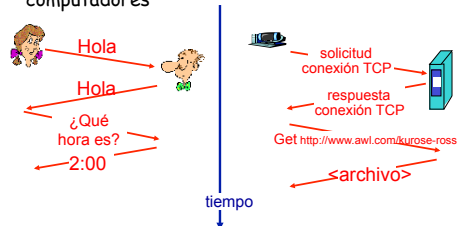
*los protocolos definen formatos, orden de los mensajes entre entidades de la red, y las acciones a realizar al recibir o transmitir mensajes*

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-8

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## ¿Qué es un protocolo?

un protocolo humano y un protocolo de red de computadores



**Pregunta:** ¿Otros protocolos humanos?

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-9

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Capítulo 1: hoja de ruta

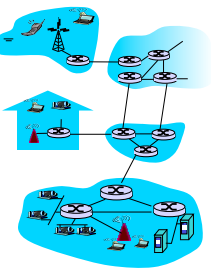
- 1.1 ¿Qué es Internet?
- 1.2 Frontera de la red
  - ❖ terminales, redes de acceso, enlaces
- 1.3 Núcleo de la red
  - ❖ conmutación de circuitos, conmutación de paquetes, estructura de la red
- 1.4 Retardos, pérdidas y tasa de transferencia en las redes de conmutación de paquetes
- 1.5 Capas de protocolos y modelos de servicio
- 1.6 Ataques a las redes: seguridad
- 1.7 Historia

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-10

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## La estructura de la red con más detalle

- ❖ **la frontera de la red:** aplicaciones y sistemas terminales
- ❖ **redes de acceso, medio físico:** enlaces cableados o sin cable
- ❖ **núcleo de la red:**
  - routers interconectados
  - red de redes

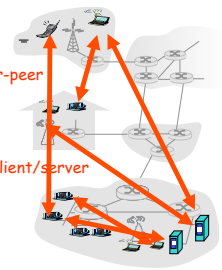


v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-11

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## La frontera de la red:

- ❖ **sistemas terminales (hosts):**
  - ejecutan aplicaciones
  - p.ej.: Web, email
  - en la "frontera de la red" peer-peer
- ❖ **modelo cliente/servidor**
  - el cliente solicita, recibe servicio de servidor
  - p.ej.: navegador/servidor web, cliente/servidor email
- ❖ **modelo peer-to-peer (entre iguales)**
  - uso mínimo (o inexistente) de servidores dedicados
  - p.ej.: Skype, BitTorrent



v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-12

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Redes de acceso y medio físico

*P: Cómo conectar sistemas terminales al primer router (o router de frontera)*

- ❖ redes residenciales de acceso
- ❖ redes institucionales de acceso (universidad, empresa)
- ❖ redes móviles de acceso

**A tener en cuenta:**

- ❖ ancho de banda (bits por segundo) de la red de acceso?
- ❖ compartida o dedicada?

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-13

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Acceso telefónico (dial-up modem):

- ❖ usa la infraestructura telefónica existente
  - domicilio conectado directamente a la **central de la red pública conmutada**
- ❖ hasta 56Kbps de acceso directo al router (a menudo menos)
- ❖ no se puede navegar y telefonar a la vez: no **siempre está disponible**

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-14

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Digital Subscriber Line (DSL)

❖ usa la infraestructura telefónica existente

- ❖ hasta 1Mbps para "subir" (hoy típicamente < 256 kbps)
- ❖ hasta 8Mbps para "bajar" (hoy típicamente < 1Mbps)
- ❖ línea física dedicada hasta la central telefónica

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-15

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Acceso desde el domicilio: cable

- ❖ usa la infraestructura de la TV por cable, en lugar de la telefónica
- ❖ **HFC: hybrid fiber coax (híbrido fibra-coaxial)**
  - capacidad asimétrica: hasta 30Mbps bajada, 2Mbps subida
- ❖ **red de cable y/o fibra óptica**, conecta los domicilios al router del ISP
  - los domicilios comparten el acceso al router
  - en esto se diferencia del DSL, que tiene acceso dedicado

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-16

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Acceso desde el domicilio: cable

Gráfico: <http://www.cabledatcomnews.com/cmico/diagram.html>

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-17

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Arquitectura de la red de cable: visión general

Típicamente 500 a 5.000 hogares

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-18

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Arquitectura de la red de cable: visión general

servidor(es)

terminal de cabecera de cable

red de distribución de cable

domicilio

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-19

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Arquitectura de la red de cable: visión general

Set-Top Box

Home Environment

TV

Cable Modem

PC

Coax

Splitter

10 Mbps Ethernet

terminal de cabecera de cable

red de distribución de cable (simplificada)

domicilio

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-20

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Arquitectura de la red de cable: visión general

FDM (enseguida hablaremos de esto):

Canales

terminal de cabecera de cable

red de distribución de cable

domicilio

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-21

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Fibra hasta el hogar

Internet

central

DLT

fibra óptica

distribuidor óptico

cables fibra óptica

DNI

DNI

DNI

- ❖ enlaces ópticos de la central hasta el domicilio
- ❖ dos tecnologías ópticas en competencia:
  - red óptica pasiva (PON: Passive Optical network)
  - red óptica activa (PAN: Active Optical Network)
- ❖ velocidades de Internet mucho más altas; la fibra transmite, además, servicios de televisión y telefonía

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-22

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Acceso a Internet por Ethernet

100 Mbps

100 Mbps

100 Mbps

switch (comutador) Ethernet

router institucional

al ISP de la institución

1 Gbps

servidor

- ❖ usado típicamente en empresas, universidades, etc
- ❖ Ethernet a 10 Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
- ❖ a día de hoy, los sistemas terminales se conectan típicamente a un switch (comutador) Ethernet

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-23

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Redes WiFi

router

estación base

terminales móviles

- ❖ una red de acceso inalámbrico (*wireless*) compartida conecta el terminal con el router
  - a través de una estación base, el "punto de acceso"
- ❖ LANs wireless:
  - 802.11b/g (WiFi): 11 ó 54 Mbps
- ❖ acceso *wireless* de área más extensa
  - proporcionada por la operadora
  - ~1Mbps a través de la red móvil (EVDO, HSDPA)
  - siguiente (?): WiMAX (decenas de Mbps) en un área más extensa

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez | Introducción | 1-24

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Redes domésticas

Componentes típicos de una red doméstica:

- ❖ DSL o modem
- ❖ router/cortafuegos/NAT
- ❖ Ethernet
- ❖ punto de acceso WiFi

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-25

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Medio Físico

- ❖ **bit**: se propaga entre pares emisor/receptor
- ❖ **enlace físico**: lo que hay entre emisor y receptor
- ❖ **medios guiados**:
  - las señales se propagan por un medio sólido: par trenzado, fibra óptica, coaxial...
- ❖ **medios no guiados**:
  - las señales se propagan libremente, p.ej.: radio

**Par trenzado (Twisted Pair, TP)**

- ❖ dos cables de cobre aislados
  - Categoría 3: cables telefónicos tradicionales, Ethernet de 10 Mbps
  - Categoría 5: Ethernet a 100Mbps

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-26

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Medio Físico: coaxial, fibra óptica

**cable coaxial :**

- ❖ dos conductores de cobre concéntricos
- ❖ bidireccional
- ❖ banda base:
  - canal único en el cable
  - Ethernet tradicional
- ❖ banda ancha:
  - múltiples canales en el cable
  - HFC

**cable fibra óptica**

- ❖ cable de fibra lleva pulsos de luz, cada uno es un bit
- ❖ funciona a alta velocidad:
  - transmisión de alta velocidad punto a punto (p.ej.: 10s-100s Gpbs)
- ❖ tasa error baja:
  - repetidores alejados; inmune a ruido electromagnético

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-27

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Medio físico: radio

- ❖ señal transmitida a través del espectro electromagnético
- ❖ no hay "cable" físico
- ❖ bidireccional
- ❖ efectos del entorno sobre la propagación:
  - reflexión
  - obstrucción por los objetos
  - interferencia

**tipos de enlace radio:**

- ❖ **microondas terrestres**
  - p.ej.: canales de hasta 45 Mbps
- ❖ **LAN** (p.ej.: WiFi)
  - 11Mbps, 54 Mbps
- ❖ **área extensa** (p.ej.: móvil)
  - móvil 3G : ~ 1 Mbps
- ❖ **satélite**
  - canales de Kbps a 45Mbps (o múltiples canales más estrechos)
  - retardos de 270 ms.
  - geosíncrono ↔ baja altitud

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-28

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Capítulo 1: hoja de ruta

- 1.1 ¿Qué es Internet?
- 1.2 Frontera de la red
  - ❖ terminales, redes de acceso, enlaces
- 1.3 Núcleo de la red
  - ❖ **comutación de circuitos, comutación de paquetes, estructura de la red**
- 1.4 Retardos, pérdidas y tasa de transferencia en las redes de comutación de paquetes
- 1.5 Capas de protocolos y modelos de servicio
- 1.6 Ataques a las redes: seguridad
- 1.7 Historia

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-29

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## El núcleo de la red

- ❖ malla de routers interconectados
- ❖ **la cuestión fundamental**: cómo se transmiten los datos por la red?
  - **comutación de circuitos**: circuito dedicado para cada llamada: red telefónica
  - **comutación de paquetes**: datos enviados por "trozos"

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-30

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Núcleo de la red: conmutación de circuitos

recursos de terminal a terminal reservados para la "llamada"

- ❖ ancho de banda del enlace, capacidad de conmutación
- ❖ recursos dedicados: sin compartición
- ❖ rendimiento circual (garantizado)
- ❖ imprescindible establecer llamada

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-31

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Núcleo de la red: conmutación de circuitos

recursos de la red (p.ej.: ancho de banda) **divididos en "porciones"**

- ❖ porciones asignadas a "llamadas"
- ❖ porción **no usada** si no lo hace la llamada (sin compartición)
- ❖ división del ancho de banda del enlace en "porciones"
  - división por frecuencia
  - división por tiempo

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-32

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Conmutación de circuitos: FDM y TDM

Ejemplo: 4 usuarios

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-33

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Ejemplo numérico

- ❖ ¿Cuánto se tarda en enviar un archivo de 640.000 bits del host A al host B a través de una red de conmutación de circuitos?
  - velocidad de todos los enlaces: 1.536 Mbps
  - cada enlace usa TDM con 24 particiones/s
  - 500 ms para establecer el circuito de terminal a terminal

**iA calcular!**

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-34

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Núcleo de la red: Conmutación de paquetes

cada flujo de datos se divide en **paquetes**

- ❖ los paquetes de los usuarios **comparten** los recursos de la red
- ❖ cada paquete usa todo el ancho de banda de cada enlace
- ❖ los recursos se usan según se **necesitan**

**conflictos por los recursos:**

- ❖ suma de necesidades de recursos puede superar las existencias
- ❖ congestión: cola de paquetes, espera para usar el enlace
- ❖ almacenamiento y envío: los paquetes realizan los saltos de uno en uno
  - el nodo recibe el paquete completo antes de retransmitirlo

~~División del ancho de banda en "trozos"~~  
~~Asignación dedicada~~  
~~Reserva de recursos~~

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-35

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Conmutación de paquetes: multiplexación estadística

- ❖ la secuencia de paquetes de A y B no tiene patrón temporal fijo
  - ancho de banda compartido bajo demanda: **multiplexación estadística**.
- ❖ TDM: cada host tiene la misma partición en un marco **circular**.

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-36

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Comutación de paquetes: almacenamiento y reenvío

- ❖ se tardan  $L/R$  segundos en transmitir (push out) un paquete de  $L$  bits por un enlace de  $R$  bps
- ❖ **almacenamiento y reenvío**: todo el paquete debe llegar al router antes de poderse retransmitir por el siguiente enlace
- ❖ retardo =  $3L/R$  (suponiendo sin retardo de propagación)

**Ejemplo:**

- $L = 7.5$  Mbits
- $R = 1.5$  Mbps
- retardo de transmisión = 15 s

} más sobre el retardo enseguida ...

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-37

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Comutación: paquetes frente a circuitos

*La comutación de paquetes permite a más usuarios usar la red!*

**Ejemplo:**

- enlace de 1 Mb/s
- cada usuario:
  - 100 kb/s cuando está "activo"
  - activo 10% del tiempo
- ❖ **comutación de circuitos**:
  - 10 usuarios
- ❖ **comutación de paquetes**
  - con 35 usuarios, la probabilidad de más de 10 activos a la vez < 0,0004

P: ¿de dónde sale 0,0004?  
P: ¿y si hay más de 35 usuarios?

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-38

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Comutación: paquetes frente a circuitos

*¿Gana la comutación de paquetes el "concurso de mates"?*

- ❖ muy buena para datos que llegan "en ráfagas"
  - compartición de recursos
  - más sencillo, sin establecimiento de llamada
- ❖ **congestión excesiva**: retraso y pérdida de paquetes
  - se necesitan protocolos para transferencias fiables, control de congestión
- ❖ P: **¿Cómo proporcionar comportamiento de tipo circuital?**
  - se necesitan garantizar el ancho de banda para aplicaciones audio/vídeo
  - problema aún por resolver (capítulo 7)
    - P: analogías humanas de reserva de recursos (circuitos) frente a asignación bajo demanda (paquetes)?

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-39

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Estructura de internet: red de redes

- ❖ 'grosso modo' jerárquica
- ❖ en el medio: pequeño nº de redes grandes bien conectadas
  - "tier-1" ISPs comerciales (p.ej.: Verizon, Sprint, AT&T, Qwest, Level3), cobertura nacional e internacional
  - grandes distribuidores de contenidos (Google, Akamai, Microsoft)
  - se tratan entre sí como iguales (sin cargos)

Tier-1 ISPs y Distribuidores de Contenidos, se interconectan (pares) en privado ... o en Internet Exchange Points (IXPs)

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-40

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Tier-1 ISP: p.ej.: Sprint

POP: point-of-presence

a/de red troncal

peering

a/de clientes

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-41

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

### Estructura de internet: red de redes

"tier-2" ISPs: ISPs más pequeños (generalmente regionales)

- ❖ se conectan a uno o más ISPs 'tier-1' (proveedores)
  - cada tier-1 tiene varios tier-2 redes de clientes
  - los ISPs 'tier 2' pagan a los proveedores 'tier 1'
- ❖ las redes 'tier-2' a veces se conectan directamente entre sí (punteando a los 'tier 1'), o en IXPs

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-42

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Estructura de internet: red de redes

- ❖ ISPs tipo "Tier-3", ISPs locales
- ❖ clientes de redes tipo 'tier 1' o 'tier 2'
  - redes de último salto ("acceso") (las más cercanas a los sistemas terminales)

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-43

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Estructura de internet: red de redes

- ❖ un paquete recorre **muchas** redes desde el sistema origen hasta el sistema destino

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-44

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Capítulo 1: hoja de ruta

- 1.1 ¿Qué es Internet?
- 1.2 Frontera de la red
  - ❖ terminales, redes de acceso, enlaces
- 1.3 Núcleo de la red
  - ❖ conmutación de circuitos, conmutación de paquetes, estructura de la red
- 1.4 Retardos, pérdidas y tasa de transferencia en las redes de conmutación de paquetes
- 1.5 Capas de protocolos y modelos de servicio
- 1.6 Ataques a las redes: seguridad
- 1.7 Historia

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-45

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Cómo ocurren las pérdidas y los retrasos

los paquetes *hacen cola* en los buffers de los routers

- ❖ la **tasa de llegada de paquetes al enlace excede la capacidad del enlace**
- ❖ los paquetes hacen cola, esperan su turno

paquete en transmisión (retraso)

paquetes haciendo cola (retraso)

buffers libres (disponibles): los paquetes que llegan se descartan (pérdidas) si no quedan buffers libres

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-46

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Cuatro fuentes de retardos

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

**$d_{\text{proc}}$ : proceso nodal**

- comprobar errores de bit
- determinar enlace de salida
- típicamente < 1 ms

**$d_{\text{cola}}$ : retardo de cola**

- tiempo de espera en el enlace de salida para la transmisión
- depende del nivel de congestión del router

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-47

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Cuatro fuentes de retardos

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

**$d_{\text{trans}}$ : retardo de transmisión:**

- L: longitud de paquete (bits)
- R: ancho de banda del enlace
- $d_{\text{trans}} = L/R$

**$d_{\text{prop}}$ : retardo de propagación:**

- d: longitud del enlace físico
- s: velocidad de propagación en el medio ( $\sim 2 \times 10^8$  m/s)
- $d_{\text{prop}} = d/s$

$d_{\text{trans}}$  y  $d_{\text{prop}}$  muy diferentes

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-48



### Analogía de la caravana

- los coches se "propagan" a 100 km/h
- el peaje tarda 12 s. en atender a un coche (tiempo de transmisión)
- coche~bit; caravana ~ paquete
- P: ¿Cuánto tiempo pasa hasta que la caravana se encuentra en el 2º peaje?**
- el tiempo en pasar toda la caravana por el primer peaje a la autopista =  $12 \cdot 10 = 120$  s.
- el tiempo para que el último coche se propague del 1er al 2º peaje:  $100\text{km}/(100\text{km/h}) = 1$  h
- R: 62 minutos**

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-49

### (Más) Analogía de la caravana

- los coches ahora se "propagan" a 1000 km/h
- el peaje tarda ahora 1 min en atender a un coche
- P: ¿Llegarán coches al 2º peaje antes de que se haya atendido a todos los coches en el primero?**
- R: ¡SI!** Tras 7 min, el primer coche llega al 2º peaje; todavía hay 3 coches en el primero.
- ¡El 1er bit de un paquete puede llegar al 2º router antes de que el paquete se transmita por completo en el 1º!

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-50

### Retardo de cola (de nuevo)

- R: ancho banda enlace (bps)
- L: longitud paquete (bits)
- a: tasa promedio de llegada de paquetes

$\text{retardo de cola promedio}$   
 $\text{intensidad de tráfico} = La/R$

- $La/R \sim 0$ : retardo de cola promedio pequeño
- $La/R \rightarrow 1$ : retardo de cola promedio grande
- $La/R > 1$ : llega más trabajo del que se puede atender; retardo promedio infinito

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-51

### Retardos y rutas "reales" de Internet

- ¿Cómo son los retardos y las pérdidas "reales" de Internet?
- Programa Traceroute**: proporciona medidas de retardo de origen a router siguiendo ruta de Internet de extremo a extremo hasta el destino. Para cada  $i$ :
  - envía 3 paquetes que llegarán hasta el router  $i$  en la ruta hacia el destino
  - el router  $i$  devuelve los paquetes al emisor
  - el emisor mide el intervalo de tiempo entre emisión y respuesta.

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-52

### Retardos y rutas "reales" de Internet

traceroute: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

3 medidas de retardo desde gaia.cs.umass.edu a cs-gw.cs.umass.edu

```

1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 ch1-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 in1-atl-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 in1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3i2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3i2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 ***
18 ***
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
  
```

enlace transoceánico

\* = sin respuesta (envío perdido, router no contesta)

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-53

### Retardos y rutas "reales" de Internet

traceroute: 192.168.1.140 (mi casa) -> 193.145.14.123 (UAH)

```

traceroute to 193.145.14.123 (193.145.14.123), 30 hops max, 40 byte packets
1 porteria (192.168.1.254) 0.132 ms 0.100 ms 0.075 ms
2 192.168.0.1 (192.168.0.1) 2.846 ms 3.134 ms 3.297 ms
3 112.Red-80-58-68.staticPrima-tde.net (80.58.68.112) 40.741 ms 42.704 ms 43.852 ms
4 20.Red-80-58-10.staticIP.prima-tde.net (80.58.10.20) 45.778 ms 47.227 ms 48.217 ms
5 rediris-2.espanix.net (193.149.1.154) 99.118 ms 99.194 ms 99.469 ms
6 TELMADII.GE-0-0-0-0.ciemat.rt1.mad.red.rediris.es (130.206.250.193) 56.757 ms 55.835 ms 57.049 ms
7 REDIMadrid.XE1-0-1.ciemat.rt1.mad.red.rediris.es (130.206.212.10) 58.978 ms 44.033 ms 44.827 ms
8 193.145.14.123 (193.145.14.123) 49.249 ms **
  
```

\* = sin respuesta (envío perdido, router no contesta)

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-54

**Pérdida de paquetes**

- ❖ la cola (= buffer) del enlace tiene capacidad limitada
- ❖ el paquete que llega a una cola llena se ignora (= perdido)
- ❖ el paquete perdido puede ser retransmitido por el nodo anterior, por el emisor, o no serlo.

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez      Introducción      1-55

**Tasa de transferencia**

- ❖ **tasa de transferencia:** velocidad (bits/ unidad de tiempo) a la que se transfieren bits entre emisor y receptor
  - **instantánea:** velocidad en un instante dado
  - **media:** velocidad promediada sobre un periodo de tiempo más largo

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez      Introducción      1-56

**Tasa de transferencia (más)**

- ❖  $R_s < R_c$  ¿Cuál es la tasa promedio de extremo a extremo?
- ❖  $R_s > R_c$  ¿Cuál es la tasa promedio?

**enlace cuello-de-botella**  
enlace en la ruta completa que limita la tasa de transferencia de toda la ruta

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez      Introducción      1-57

**Tasa de transferencia: Internet**

- ❖ tasa específica de conexión terminal a terminal:  $\min(R_c, R_s, R/10)$
- ❖ en la práctica:  $R_c$  o  $R_s$  son típicamente los cuellos de botella

10 conexiones comparten (equitativamente) el enlace troncal cuello de botella a  $R$  bits/sec

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez      Introducción      1-58

**Capítulo 1: hoja de ruta**

- 1.1 ¿Qué es Internet?
- 1.2 Frontera de la red
  - ❖ terminales, redes de acceso, enlaces
- 1.3 Núcleo de la red
  - ❖ conmutación de circuitos, conmutación de paquetes, estructura de la red
- 1.4 Retardos, pérdidas y tasa de transferencia en las redes de conmutación de paquetes
- 1.5 Capas de protocolos y modelos de servicio
- 1.6 Ataques a las redes: seguridad
- 1.7 Historia

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez      Introducción      1-59

**"Capas" de protocolos**

*Las redes son complejas, con muchas "piezas":*

- ❖ hosts
- ❖ routers
- ❖ enlaces con diversos tipos de medio
- ❖ aplicaciones
- ❖ protocolos
- ❖ hardware, software

**Pregunta:**  
¿Se puede esperar alguna estructura de organización en la red?  
(¿O al menos en nuestra discusión de las redes?)

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez      Introducción      1-60

Organización del transporte aéreo

billete (compra)	billete (reclamación)
equipaje (facturación)	equipaje (recogida)
embarque (carga)	embarque (descargas)
pista despegue	pista aterrizaje
control de vuelo	control de vuelo
control de vuelo	

❖ una serie de pasos

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-61

Organización en capas de la funcionalidad en una línea aérea

billete (compra)      billete (reclamación)      billete

equipaje (facturación)      equipaje (recogida)      equipaje

embarque (carga)      embarque (descarga)      puerta

pista (despegue)      pista (aterrizaje)      despegue/aterrizaje

control vuelo      control vuelo      control vuelo      control vuelo      control de vuelo

aeropuerto origen      centros intermedios de control de tráfico aéreo      aeropuerto destino

Capas: cada capa implementa un servicio

- ❖ a través de acciones internas a su capa
- ❖ utilizando servicios proporcionados por la capa inferior

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-62

¿Por qué en capas?

Al tratar con sistemas complejos:

- ❖ una estructura explícita permite la identificación y la relación de las piezas del sistema complejo
  - sistema de referencia en capas para discusión
- ❖ la modularidad facilita el mantenimiento y la actualización del sistema
  - un cambio en la implementación de un servicio de una capa es transparente al resto del sistema
  - p.ej.: un cambio en el procedimiento de embarque no afecta al resto del sistema
- ❖ ¿puede ser perjudicial la organización en capas?

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-63

Pila de protocolos de Internet

- ❖ **aplicación:** da servicio a las aplicaciones de red
  - FTP, SMTP, HTTP
- ❖ **transporte:** transferencia de datos de proceso a proceso
  - TCP, UDP
- ❖ **red:** enrutamiento de datagramas (=paquetes) de fuente a destino
  - IP, protocolos de enrutamiento
- ❖ **enlace:** transferencia de datos entre elementos vecinos
  - Ethernet, 802.11i (WiFi), PPP
- ❖ **física:** bits "en el cable"

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-64

Modelo de referencia ISO/OSI

- ❖ **presentación:** permite a las aplicaciones interpretar el significado de los datos, p.ej.: encriptación, compresión, convenciones específicas de los computadores (little, big endian)
- ❖ **sesión:** sincronización, comprobación, recuperación de intercambio de datos
- ❖ ¡En la pila de internet no están estas capas!
  - estos servicios, si se necesitan, deben ser implementados en la capa de aplicación
  - ¿se necesitan?

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-65

Encapsulado

mensaje [M]      aplicación      transporte      enlace      física

segmento [H<sub>1</sub> | H<sub>2</sub> | M]      aplicación      transporte      enlace      física

datagrama [H<sub>1</sub> | H<sub>2</sub> | H<sub>3</sub> | M]      aplicación      transporte      red      enlace      física

marco [H<sub>1</sub> | H<sub>2</sub> | H<sub>3</sub> | H<sub>4</sub> | M]      aplicación      transporte      red      enlace      física

origen      destino

switch      router

v1.0. Raúl Durán, Nacho Pérez      Introducción      1-66

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Capítulo 1: hoja de ruta

- 1.1 ¿Qué es Internet?
- 1.2 Frontera de la red
  - ❖ terminales, redes de acceso, enlaces
- 1.3 Núcleo de la red
  - ❖ conmutación de circuitos, conmutación de paquetes, estructura de la red
- 1.4 Retardos, pérdidas y tasa de transferencia en las redes de conmutación de paquetes
- 1.5 Capas de protocolos y modelos de servicio
- 1.6 Ataques a las redes: seguridad
- 1.7 Historia

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-67

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Seguridad en la red

- ❖ **campo de seguridad en la red:**
  - cómo los "malos" pueden atacar redes de computadores
  - cómo podemos defender las redes de los ataques
  - cómo diseñar arquitecturas inmunes a los ataques
- ❖ **Internet no fue diseñada pensando (demasiado) en la seguridad**
  - *visión original:* "un grupo de usuarios que confían unos en otros unidos a una red transparente" ☺
  - los diseñadores de protocolos intentan ponerse al día
  - consideraciones de seguridad se aplican a todas las capas!

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-68

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Los "malos": introducir software malicioso ('malware') en hosts a través de Internet

- ❖ se puede introducir un **virus**, un **gusano** o un **troyano**.
- ❖ un **espía** puede grabar pulsaciones de teclas, webs visitadas, etc., y enviar información a otro lugar.
- ❖ un host infectado puede ser absorbido por una **botnet (red de robots)**, usadas para spam y ataques DoS.
- ❖ el malware a menudo se **autorreplica**: desde un host infectado, intenta introducirse en otros.

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-69

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Los "malos": introducir software malicioso ('malware') en hosts a través de Internet

**Troyano**

- ❖ parte (oculta) de un programa normal
- ❖ hoy en día a menudo en páginas Web (Active-X, plugin)

**virus**

- ❖ infección por recepción de un objeto (p.ej.: adjunto a e-mail), en ejecución activa
- ❖ autorreplicante: se propaga a otros hosts o usuarios

**gusano:**

- ❖ infección por recepción pasiva que se llega a ejecutar
- ❖ autorreplicante: se propaga a otros hosts o usuarios

Gusano Sapphire: scans totales/s en los primeros 5 minutos desde su brote (CAIDA, UWisc data)

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-70

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Los "malos": pueden atacar a los servidores y a la infraestructura de la red

**Denegación de Servicio ('Denial of Service'; DoS):** los atacantes hacen que los recursos (servidores, ancho de banda) dejen de estar disponibles para el tráfico a base de saturarlos con peticiones falsas

1. seleccionar objetivo
2. colarse en hosts por la red (ver botnet)
3. enviar paquetes al destino desde los hosts invadidos

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-71

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Los "malos" pueden examinar y analizar los paquetes

**'Packet sniffing':**

- ❖ entornos multidifusión (Ethernet compartida, wireless)
- ❖ interfaz promiscuo lee/graba todos los paquetes (p.ej.: contraseñas) que pasan por ellos

- ❖ Wireshark, la utilidad del laboratorio, es un 'packet-sniffer' de libre distribución

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-72

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Los "malos" pueden suplantar identidades

**'IP spoofing' (suplantación IP):** enviar paquete con dirección de origen falsa

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-73

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Los "malos" pueden grabar y reproducir

**grabar y reproducir:** obtener por 'sniffing' información sensible (p.e.j.: contraseñas) y usarlas después

- ❖ desde el punto de vista del sistema, el usuario correcto es el que tenga la contraseña

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-74

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Capítulo 1: hoja de ruta

- 1.1 ¿Qué es Internet?
- 1.2 Frontera de la red
  - ❖ terminales, redes de acceso, enlaces
- 1.3 Núcleo de la red
  - ❖ conmutación de circuitos, conmutación de paquetes, estructura de la red
- 1.4 Retardos, pérdidas y tasa de transferencia en las redes de conmutación de paquetes
- 1.5 Capas de protocolos y modelos de servicio
- 1.6 Ataques a las redes: seguridad
- 1.7 Historia

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-75

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Historia de Internet

**1961-1972: Inicios de conmutación de paquetes**

- ❖ 1961: Kleinrock - la teoría de colas muestra efectividad de la conmutación de paquetes
- ❖ 1964: Baran - conmutación de paquetes en redes militares
- ❖ 1967: ARPAnet, ideada por la Advanced Research Projects Agency
- ❖ 1969: primer nodo de ARPAnet en funcionamiento
- ❖ 1972:
  - demostración pública de ARPAnet
  - NCP (Network Control Protocol) primer protocolo de comunicación de host a host
  - primer programa de e-mail
  - ARPAnet tiene 15 nodos

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-76

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Historia de Internet

**1972-1980: Interconexión de redes, redes nuevas y propietarias**

- ❖ 1970: ALOHAnet, red por satélite en Hawaii
- ❖ 1974: Cerf y Kahn - arquitectura para redes de interconexión
- ❖ 1976: Ethernet en el Xerox PARC
- ❖ finales de los 70: arquitecturas propietarias: DECnet, SNA, XNA
- ❖ finales de los 70: conmutación de paquetes de longitud fija (precursor de ATM)
- ❖ 1979: ARPAnet tiene 200 nodos

**Cerf y Kahn: los principios de interconexión:**

- minimalismo, autonomía - no se necesitan cambios internos para interconectar redes
- modelo de servicio: "hazlo como puedas"
- routers sin estado
- control descentralizado

**definen la arquitectura actual de Internet**

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-77

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Historia de Internet

**1980-1990: nuevos protocolos, proliferación de redes**

- ❖ 1983: extensión de TCP/IP
- ❖ 1982: protocolo smtp para e-mail definido
- ❖ 1983: definición de DNS para traducción de nombre a IP
- ❖ 1985: definido protocolo ftp
- ❖ 1988: control de congestión TCP
- ❖ nuevas redes nacionales: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- ❖ 100.000 hosts conectados a la confederación de redes

v1.0. Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-78

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Historia de Internet

*1990, 2000's: comercialización, la Web, nuevas aplicaciones*

- ❖ inicio de los 90: fin de ARPAnet
- ❖ 1991: NSF elimina restricciones al uso comercial de NSFnet (deja de existir en 1995)
- ❖ inicio de los 90: Web
  - hipertexto [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, HTTP: Berners-Lee
  - 1994: Mosaic, después Netscape
  - finales de los 90: comercialización de la Web

**fin de los 90 y 2000:**

- ❖ más aplicaciones exitosas: mensajería instantánea, P2P, compartición de archivos
- ❖ seguridad de redes como principal cuestión
- ❖ unos 50 millones de hosts, más de 100 millones de usuarios
- ❖ enlaces troncales a Gbps.

v1.0 Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-79

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Historia de Internet

**2010:**

- ❖ ~750 millones de hosts
- ❖ voz y vídeo por IP
- ❖ aplicaciones P2P : BitTorrent (compartición archivos) Skype (VoIP), PPLive (vídeo)
- ❖ más aplicaciones: YouTube, juegos, Twitter
- ❖ wireless, movilidad

v1.0 Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-80

Universidad de Alcalá | Departamento de Automática

## Introducción: Resumen

**Hemos cubierto mucho material**

- ❖ Visión global de Internet
- ❖ ¿qué es un protocolo?
- ❖ frontera de la red, núcleo, red de acceso
  - conmutación de paquetes frente a de circuitos
  - Estructura de Internet
- ❖ tasa de transferencia: pérdidas, retardos, transferencia
- ❖ organización en capas, modelos de servicio
- ❖ seguridad

**Ahora tenemos:**

- ❖ contexto, visión global
- ❖ en los capítulos siguientes, más profundidad y detalle

historia

v1.0 Raúl Darín, Nacho Pérez | Introducción | 1-81