
16.36: Ingeniería de sistemas de comunicación

Clase 1: introducción

Eytan Modiano

Información del curso

- **Docencia:** Eytan Modiano
- **Clases:** martes y jueves

- **Libro de texto:** *Communications Systems Engineering*, Proakis y Salehi
- **Evaluación:**
 - 10% de la nota: trabajos en casa semanales
 - 30% de la nota: cada uno de los 3 exámenes
 - Examen final durante la semana de los finales

Fechas importantes en la comunicación moderna

Sistemas
de comunicación
analógicos

- **1876 - Teléfono de Bell**
- **1920 - Emisión de Radio**
- **1936 - Emisión de TV**

Sistemas
de comunicación
digitales

- **Años 60 - Comunicaciones digitales**
- **1965 - Primer satélite comercial**

Sistemas
de comunicación
en red
(paquetes)

- **1970 - Primer nodo de Internet**
Redes Darpa y Aloha
- **1980 - Creación del protocolo TCP/IP**
- **1993 - Invención de la Red**

Clases de comunicación típicas

- **Antiguamente (años 80), la comunicación digital y analógica se impartían como materias separadas**
 - La creación de redes se impartía a veces como curso de posgrado, sin embargo, se pensaba que no tenía mucha utilidad
- **En la actualidad, la mayoría de las clases se ciñen a los sistemas digitales**
 - Algunos imparten el sistema analógico por razones “históricas”
 - Hay clases de creación de redes de licenciatura y de posgrado
- **MIT: un curso de comunicación digital y otra de creación de redes, ambas de posgrado (6.450, 16.37/6.263)**
- **Esta clase introducirá conceptos de comunicaciones y creación de redes a nivel de licenciatura**
 - **Es el primer intento de combinar conceptos de ambas materias**
Es importante no concebir ambos sistemas como separados

¿Por qué comunicaciones en el departamento de aeronáutica?

- **Iniciativa de información del departamento**
 - Comunicaciones
 - Software y ordenadores
 - Sistemas autónomos
- **Los ordenadores forman parte fundamental del sistema aeroespacial**
 - Control del sistema, interfaz humana
 - Ordenadores, software, comunicaciones, etc.
 - P. ej., redes de comunicación complejas en la aeronave o en la nave espacial
- **La comunicación espacial es un sector en auge**
 - TV por satélite, acceso a Internet
- **La tecnología de la información es una disciplina técnica esencial**
 - Hoy en día es una habilidad tan fundamental como el conocimiento de la física o las matemáticas básicas

Programa del curso

Fecha	Clase	Tema	Lectura
4-Feb	L1	Introducción	Capítulo 1
6-Feb	L2	Medición de la información	Sección 6.1
11-Feb	L3	Teorema del muestreo	Sec. 2.2, 2.4
13-Feb	L4	Cuantificación	Sec. 6.5
18-Feb		Horario del lunes	
20-Feb	L5	Codificación de la fuente	Sec. 6.2-6.3
25-Feb	L6	Modulación	Sec. 7.1 - 7.3
27-Feb	L7	Modulación	
4-Mar	L8	Detección de una señal con ruido	Sec. 7.5
6-Mar	L9	Detección de una señal con ruido	Sec. 7.5
11-Mar L10		Prueba 1	
13-Mar L11		Análisis BER	Sec. 7.6
18-Mar L12		Codificación y capacidad de canal	Capítulo 9
20-Mar L13		Codificación de canal	Sec. 9.5 - 9.6
25-Mar		Vacaciones de primavera	
27-Mar		Vacaciones de primavera	
1-Apr	L14	Análisis del cálculo de enlace	Sec. 7.7
3-Apr	L15	Espectros de señales moduladas digitalmente	Sec. 8.1 - 8.3

Programa del curso

Fecha	Clase	Tema	Lectura
8-Abr	L16	Comunicaciones de paquetes Comprobación de errores DLC con CRC	Tanenbaum 3
10-Abr	L17	Técnicas ARQ	Tanenbaum 3.4, 3
15-Abr	L18	Acceso múltiple: TDMA, FDMA, CDMA	Apuntes de clase
17-Abr L19		Prueba 2	
22-Abr		Día del patriota	
24-Abr	L20	Introducción a la teoría de colas	Apuntes de clase
29-Abr	L21	Introducción a la teoría de colas	Apuntes de clase
1-May	L22	Acceso múltiple de paquetes: Aloha/CSMA	Tanenbaum 4
6-May	L23	Redes de área local	Tanenbaum 4
8-May	L24	Enrutamiento de paquetes	Tanenbaum 5
13-May L25		Enrutamiento de paquetes	Tanenbaum 5
15-May L26		TCP/IP e Internet	Tanenbaum 6: 6.4
5/19 - 5/23		SEMANA DEL EXAMEN FINAL	

Aplicaciones de Comunicación

- **Emisión de TV/Radio**
 - Nada nuevo en este terreno
- **Telefonía digital**
 - Con y sin hilos
- **Redes/comunicaciones informáticas**
 - **Compartición de recursos**
 - Informática: ordenador central (antiguamente)
 - Impresoras, periféricos
 - Información, acceso a bases de datos y actualizaciones
 - **Servicios de Internet**
 - Correo, FTP, Telnet, acceso a la Red
- **Hoy, la mayoría del tráfico de red está destinado a aplicaciones de Internet**

Tipos de redes

- **Redes de área extensa (WAN)**
 - Abarcan áreas de gran extensión (países, continentes, el mundo)
 - Utilizan líneas telefónicas en alquiler (¡caro!):
 - Década de los 80: 10 Kbps; a partir del 2000: 2.5 Gbps
 - Velocidades de acceso de los usuarios: 56Kbps – 155 Mbps
 - Enlaces de comunicación compartidos: switches y routers
 - P.ej.: IBM SNA, redes X.25 o Internet
- **Redes de área local (LAN):**
 - Comprenden una oficina o un edificio
 - Presentan un único salto o hop (canal compartido) (¡barato!)
 - Velocidades de acceso de los usuarios: 10 Mbps – 1 Gbps
 - P. ej.: Ethernet, redes en anillo (Token rings) o Apple-talk
- **Redes de área metropolitana (MAN)**
- **Redes de área de almacenamiento**

Servicios de red

- **Síncronos:**
 - La sesión consiste en una cadena continua de tráfico (p. ej.: voz)
 - Por lo general, requiere retardos limitados y establecidos
- **Asíncronos:**
 - La sesión consiste en una secuencia de mensajes
 - Generalmente a ráfagas
 - Ej.: sesiones interactivas, transferencias de archivos o envío de emails
- **Servicios orientados a conexión:**
 - La sesión se mantiene durante un período de tiempo
 - Entrega de paquetes ordenada y oportuna
 - P. ej.: Telnet o FTP
- **Servicios no orientados a conexión:**
 - La transacción se produce en un solo tiempo (p. ej.: email)
- **Calidad de servicio (QoS)**

Técnicas de conmutación (Switching)

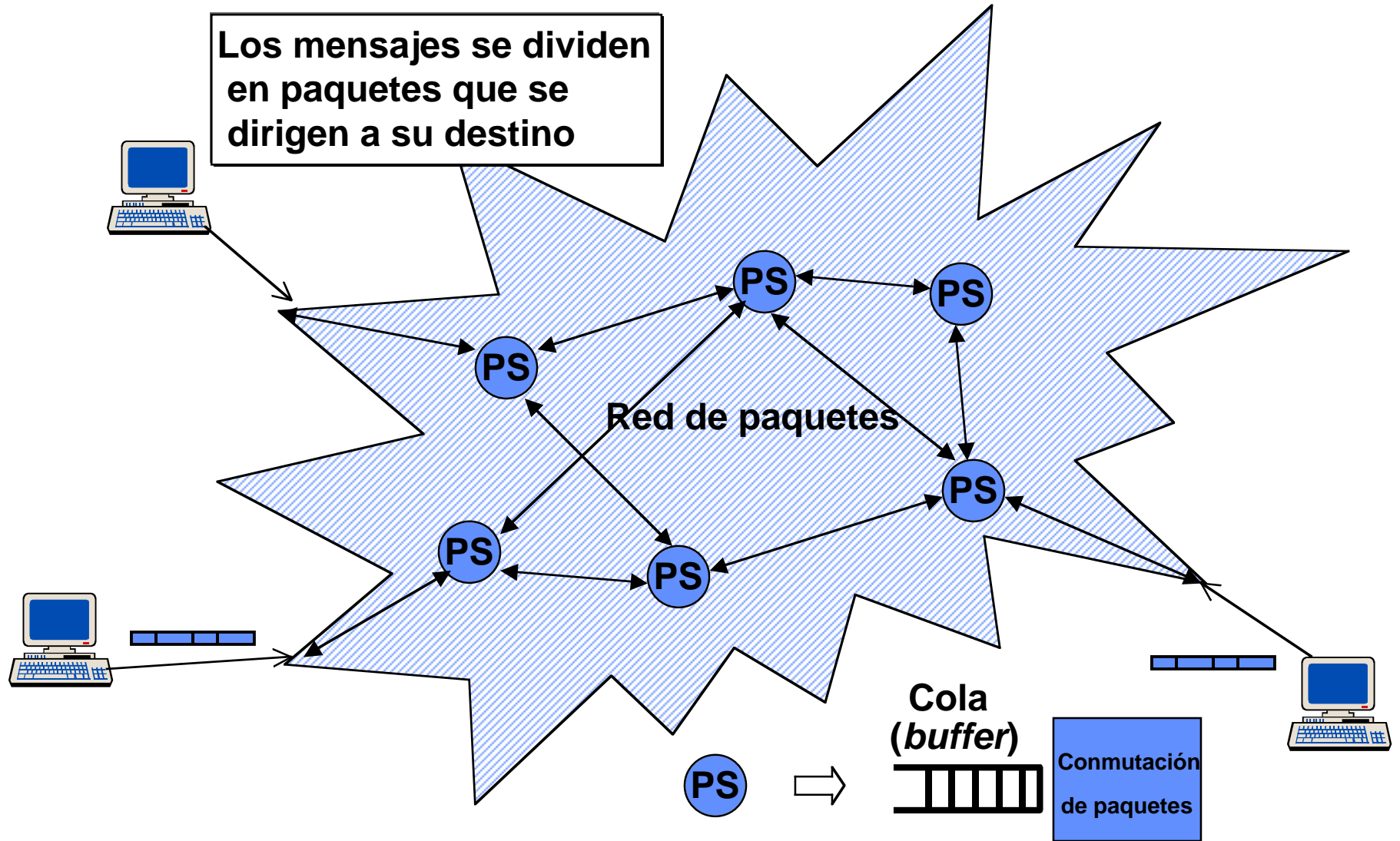
- **Conmutación de circuitos:**
 - Reserva de recursos
 - Redes de telefonía tradicional
- **Conmutación de paquetes**
 - Compartición de recursos
 - Redes de datos modernas

Conmutación de circuitos

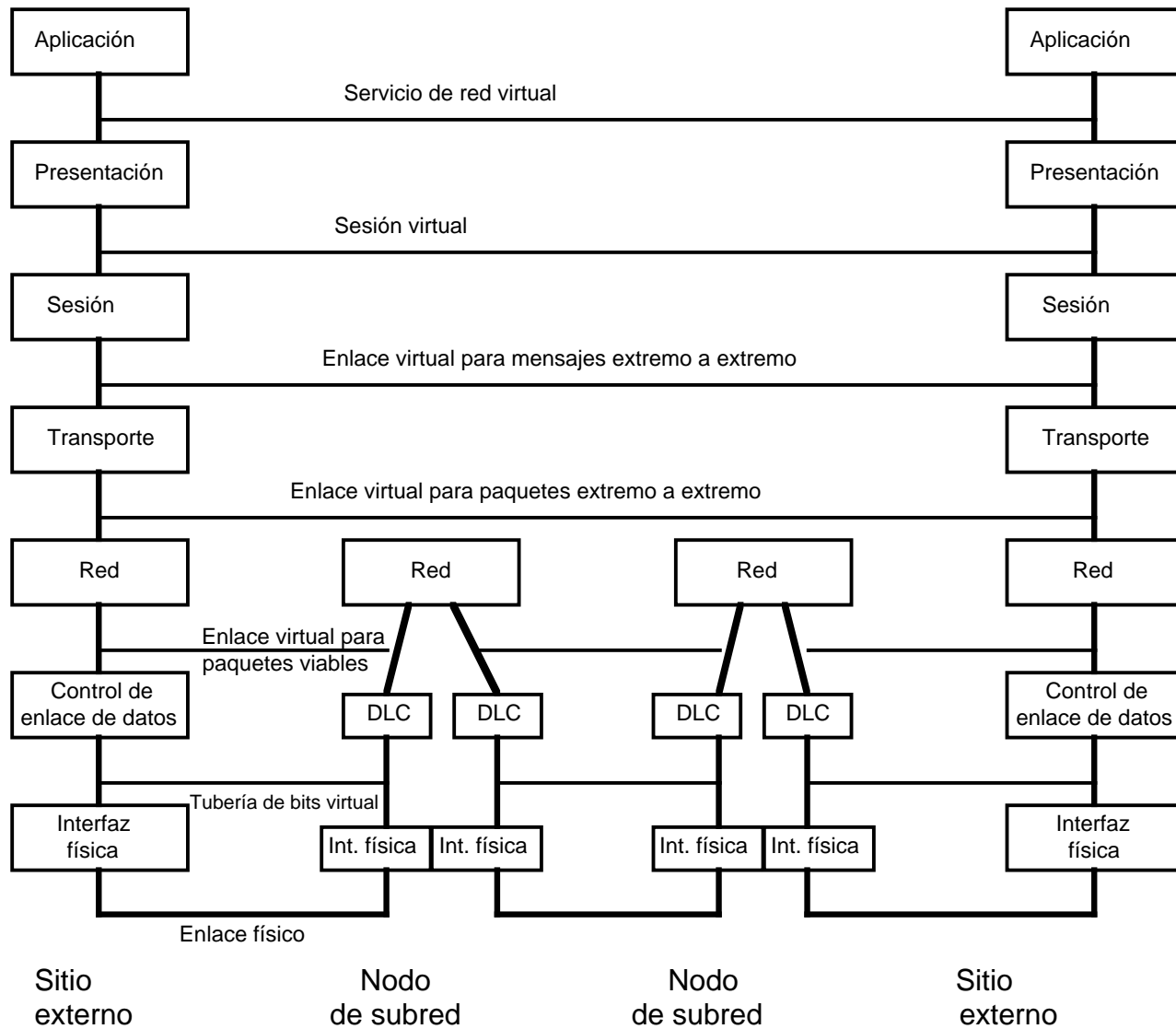
- **A cada sesión se le asigna una fracción fija de la capacidad de cada enlace de su ruta:**
 - Recursos reservados
 - Camino establecido
 - Si se emplea toda la capacidad se bloquean las llamadas
P. ej.: red telefónica
- **Ventajas de la conmutación de circuitos:**
 - Retardos establecidos
 - Garantiza la entrega continua
- **Desventajas:**
 - Los circuitos no se utilizan cuando la sesión está desocupada (vacía)
 - Resulta ineficaz para el tráfico a ráfagas
 - Generalmente, la conmutación de circuitos se realiza con una cadena de velocidad establecida (p. ej.: 64 Kbps)

Es difícil que soporte velocidades variables de datos

Redes conmutadas por paquetes



Modelo de referencia OSI de 7 capas



Capas

- **Capa de presentación:**
 - Realiza la conversión del código de caracteres, la encriptación y compresión de datos, etc.
- **Capa de sesión:**
 - Recibe el servicio virtual de mensajes extremo a extremo de la capa de transporte
 - Se encarga de la gestión de directorios, los derechos de acceso, las funciones de registro, etc.
- **Aquí la estandarización no se ha desarrollado totalmente ya que, desde la capa de transporte a la de aplicación, todas ellas corresponden al sistema operativo y no necesitan interfaces estándar.**
- **Pasamos a la capa de transporte e inferiores**

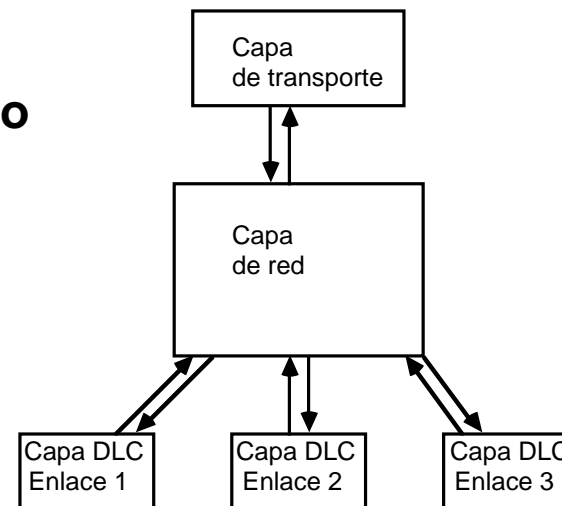
Capa de transporte

- **La capa de transporte se encarga de la transmisión viable de extremo a extremo de los mensajes por la red**
 - La capa de red proporciona un conducto virtual de paquetes extremo a extremo hacia la capa de transporte
 - La capa de transporte proporciona a las capas superiores un servicio virtual de mensajes extremo a extremo
- **Las funciones de la capa de transporte son:**
 - 1) **Dividir los mensajes en paquetes y reajustar su tamaño para que sea válido para la capa de red**
 - 2) **Multiplexar las sesiones con los mismos nodos de origen y destino**
 - 3) **Reordenar los paquetes una vez llegados a su destino**
 - 4) **Recuperar el sistema de errores y fallos**
 - 5) **Proporcionar un control de flujo de extremo a extremo**

Capa de red

- **La capa de red se encarga del enrutamiento de los paquetes por la red**
 - **El módulo de la capa de red acepta los paquetes que llegan de la capa de transporte y los paquetes en tránsito de la capa DLC**
 - **Dirige cada paquete a su correspondiente DLC de salida o bien a la capa de transporte una vez que el paquete ha llegado a su destino**
 - **Por lo general, la capa de red añade su propia cabecera a los paquetes que recibe de la capa de transporte. Esta cabecera contiene la información necesaria para dirigirlo (p. ej.: la dirección de destino)**

Cada nodo contiene, por enlace, un módulo de capa de red más un módulo de capa de enlace



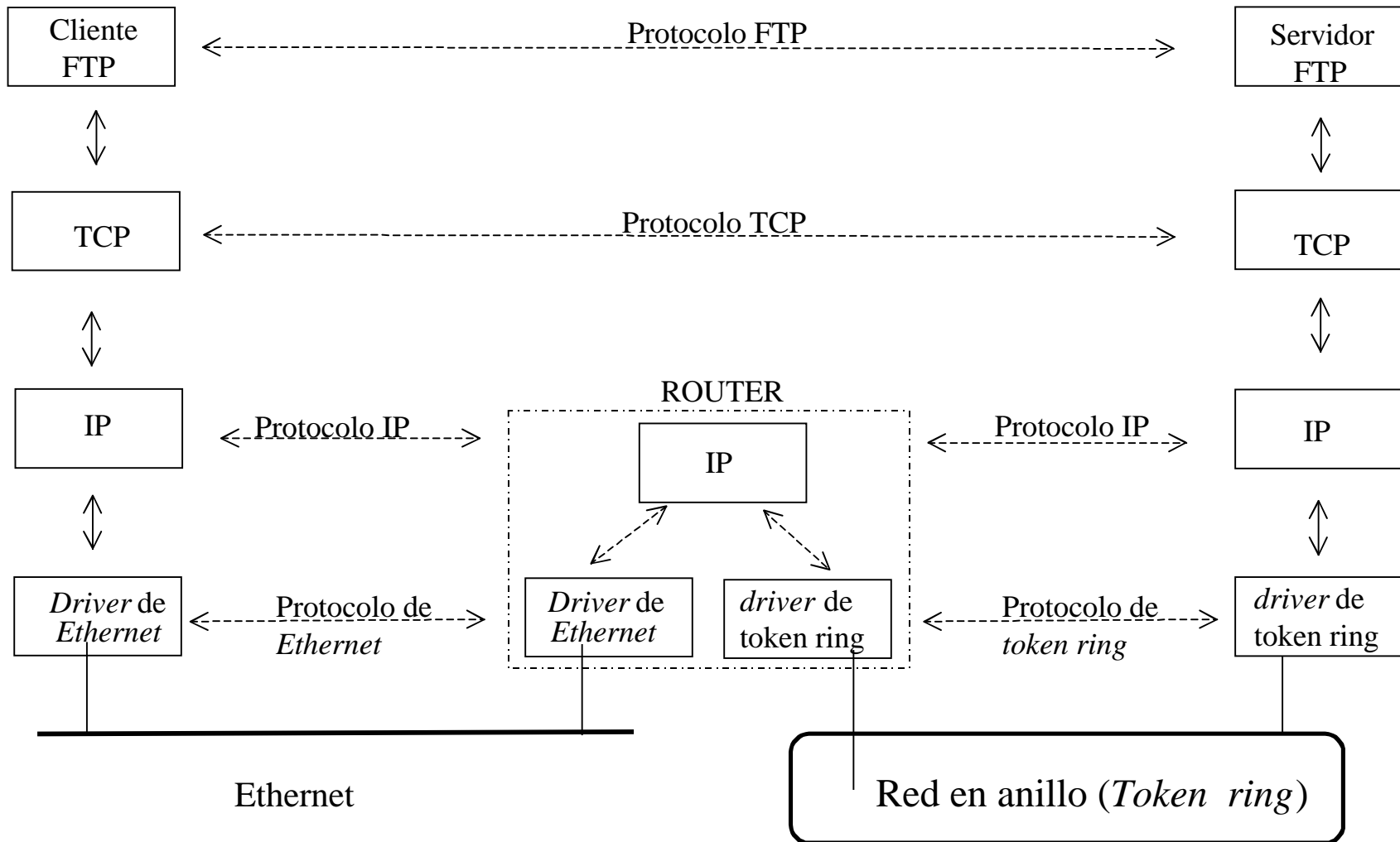
Capa de enlace

- **Responsable de la transmisión sin errores de paquetes a través de un único enlace:**
 - **Entramado (Framing):**
Determina el inicio y el fin de los paquetes
 - **Detección de errores:**
Determina qué paquetes contienen errores de transmisión
 - **Corrección de errores:**
Esquema de retransmisión (solicitud de repetición automática o ARQ)

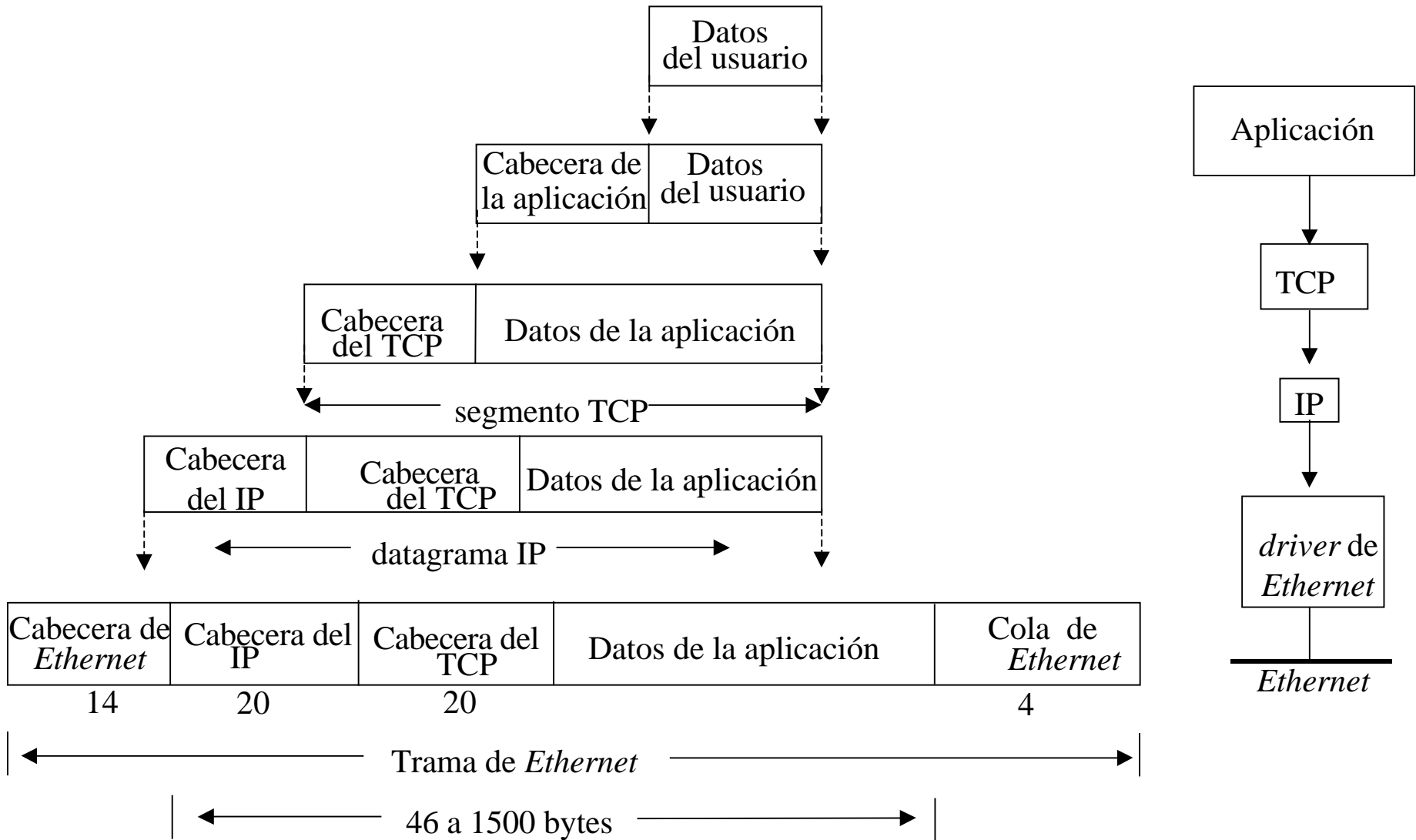
Subcapa de Internet

- **Cuando se enlazan varias redes incompatibles es necesaria una subcapa entre la capa de transporte y la de red**
- **Esta subcapa se emplea en pasarelas entre redes diferentes**
- **Parece una capa de transporte hacia las redes enlazadas**
- **Es la responsable del enrutamiento y el control de flujo entre las redes, por lo que parece una capa de red para la capa de transporte de extremo a extremo**
- **En Internet, esta función se lleva a cabo mediante el protocolo de internet (IP):**
 - **A menudo, el protocolo IP se usa también como protocolo de la capa de red, por lo que sólo es necesario un protocolo**

Interconexión de redes con TCP/IP

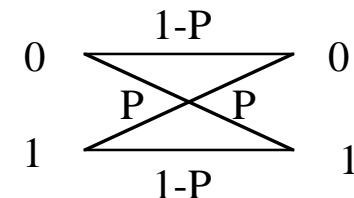


Encapsulación

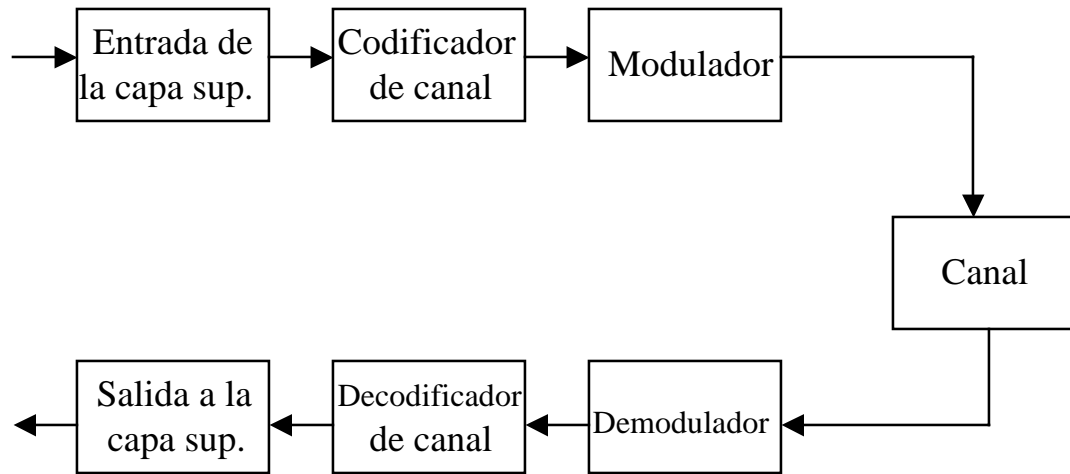


Capa física

- **Responsable de la transmisión de bits a través de un enlace**
- **Retardo de propagación**
 - **Tiempo que tarda la señal en viajar desde el origen a su destino**
La señal viaja aprox. a la velocidad de la luz, $C = 3 \times 10^8$ m/seg
 - **Ej.:**
 - Satélite LEO: $d = 1000$ km \Rightarrow 3,3 ms de retardo de propagación
 - Satélite GEO: $d = 40.000$ km \Rightarrow 1/8 seg de retardo de propagación
 - Cable de *Ethernet*: $d = 1$ km \Rightarrow 3μ s de retardo de propagación
- **Errores de transmisión:**
 - Las señales experimentan una pérdida de intensidad debido a la atenuación
 - La transmisión se deteriora debido al ruido
 - **Modelo de canal simple: canal simétrico binario**
 - P = probabilidad de error de bit
 - Independiente de un bit a otro
 - **En realidad, los errores de canal se suelen producir a ráfagas**



Elementos básicos de la capa física



- **En la visión tradicional del sistema de comunicación la entrada era una fuente de información analógica (por lo general, voz)**
- **Para transmitir digitalmente información analógica hay que convertir la forma de la onda analógica en onda digital**
 - Muestreo, cuantificación, codificación de fuente
- **En las redes informáticas modernas la primera fuente de información suele ser digital**
 - La conversión de analógico a digital no se considera parte del sistema de comunicación, sino una función de capa superior (aplicación)

Transmisión de información

- **Fuente de información**
 - Continua -p. ej., voz, vídeo
 - Discreta - p.ej., texto, datos informáticos
- **Señal**
 - Analógica (valores continuos)
 - Digital (valores discretos)
- **¿Por qué transmisión digital?**
 - Puede eliminar el “ruido” no deseado para reproducir la señal digital
 - Puede eliminar la redundancia
- **Transmisión digital de datos continuos**
 - Muestrear
 - Cuantizar
 - Codificar

Elementos de un sistema de comunicación digital

- **Codificación de fuente**
 - Sirve para comprimir los datos
Con pérdidas, sin pérdidas
- **Codificación de canal**
 - Acaba con el problema del ruido de canal no deseado
 - Introduce “redundancia” como protección frente a errores
- **Modulación**
 - Representa *bits* que utilizan señales de valor continuo adecuadas para la transmisión
Impone señales de valor discreto en una forma de onda analógica
Por lo general utiliza una onda senoidal o cosenoidal

Canales de transmisión

- **Transmisión electromagnética**
 - Medio guiado: conductor doble retorcido, cable coaxial
 - Medio no guiado (aire): transmisión de radio, satélite
- **Transmisión óptica**
 - Medio: fibra óptica, espacio libre (satélite)
- **Almacenamiento**
 - Magnético (cinta, disco)
 - Óptico (CD)

Espectro de frecuencia

- **La transmisión mediante ondas aéreas utiliza diferentes bandas de frecuencia**
- **Las bandas de frecuencia útiles no son infinitas**
- **El espectro es un recurso natural que ha de ser utilizado eficientemente**
- **La Administración del Estado distribuye el espectro entre los operadores**
 - *Federal Communications Commission (FCC)*