

Introducción a las Redes de Ordenadores

Fundamentos de Redes de Ordenadores

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones y
Sistemas Telemáticos y Computación

Universidad Rey Juan Carlos

Septiembre 2022



©2022 Grupo de Sistemas y Comunicaciones.
Algunos derechos reservados.
Este trabajo se distribuye bajo la licencia
Creative Commons Attribution Share-Alike
disponible en <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Contenidos

- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores
- 3 Estructura Básica de las Redes
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura
- 5 Encapsulación
- 6 Arquitectura OSI
- 7 Arquitectura TCP/IP
- 8 Referencias

Contenidos

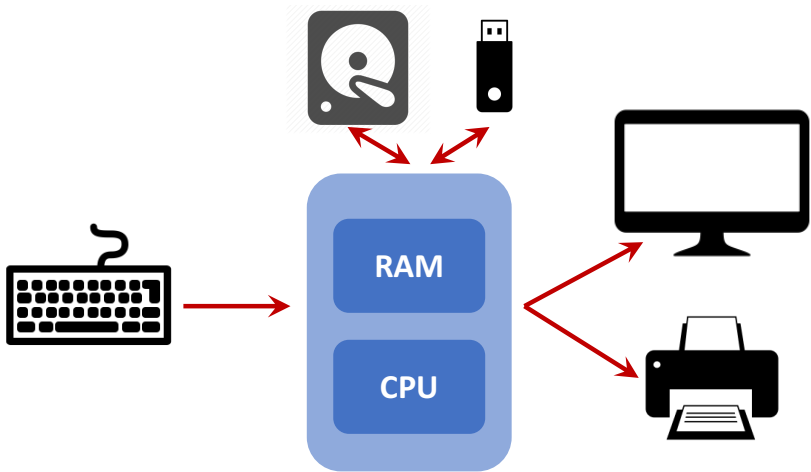
- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores
- 3 Estructura Básica de las Redes
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura
- 5 Encapsulación
- 6 Arquitectura OSI
- 7 Arquitectura TCP/IP
- 8 Referencias

Funcionamiento de un Ordenador

La **máquina analítica** no pretende originar nada. Sin embargo, puede hacer cualquier cosa que sepamos ordenarle
(Lady Ada Lovelace)

- Componentes *hardware* de un ordenador:
 - Memoria** Lugar de almacenamiento de datos y programas.
 - CPU** (Unidad Central de Proceso) Manipula la información almacenada en la memoria.
 - Periféricos** Dispositivos para la entrada y salida de información desde la memoria.
- Entre los periféricos está la **Red**. Tarjetas de red fija, inalámbrica, interfaces Bluetooth,... permiten el intercambio de información con otros ordenadores.

Relación entre los componentes



Métrica de la memoria

- Los ordenadores utilizan el sistema binario para manejar la información:
 - **Bit**: Dígito binario (*[Bi]nary Digi[t]*). Valor 0 ó 1.
 - **Byte**: Conjunto de 8 bits.
 - **KiloByte (KB)**: 10^3 bytes $\simeq_2\%$ 1024 Bytes = 2^{10} bytes (Kibibyte, KiB)
 - **MegaByte (MB)**: 10^6 bytes $\simeq_5\%$ 1024 KB = 2^{20} bytes (Mebibyte, MiB)
 - **GigaByte (GB)**: 10^9 bytes $\simeq_7\%$ 1024 MB = 2^{30} byte (Gibibyte, GiB)
 - **TeraByte (TB)**: 10^{12} bytes $\simeq_{10}\%$ 1024 GB = 2^{40} bytes (Tebibyte, TiB)
 - ...
 - **Palabra**: Tamaño de la unidad de memoria a la que se accede de una sola vez.
- Operaciones básicas sobre la memoria:
 - Leer (no borra su contenido).
 - Escribir (borra el contenido anterior).

Sistema Operativo

- Facilita el uso del hardware del ordenador.
- Multiplexa los recursos hardware.
- Tipos: Multi-Tarea, Multi-Usuario, Tiempo-Real, ...
- Ejemplos: GNU/Linux, FreeBSD, MacOS, Windows...

Programas

Procesadores de Texto: Word . . .

Hojas de Cálculo: Excel, Gnumeric . . .

Bases de Datos: Dbase, Oracle, PostgreSQL . . .

Hipermedia: Manejo de sonido, animaciones, videojuegos . . .

Comunicaciones: Netscape, Explorer, Firefox, Evolution . . .

Desarrollo de Programas: GNAT, GCC, Visual C++, Delphi . . .

Contenidos

- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores**
- 3 Estructura Básica de las Redes
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura
- 5 Encapsulación
- 6 Arquitectura OSI
- 7 Arquitectura TCP/IP
- 8 Referencias

Propósito de las Redes de Ordenadores

- **Compartir recursos:** Discos duros, impresoras, programas...
- **Compartir información:** Acceso a documentos remotos...
- **Mejorar la fiabilidad:** Alternativas, replicación...
- **Incrementar el rendimiento:** Máquinas trabajando juntas...
- **Servir de medio de comunicación** de personas/comunidades

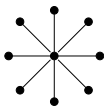
Contenidos

- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores
- 3 Estructura Básica de las Redes**
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura
- 5 Encapsulación
- 6 Arquitectura OSI
- 7 Arquitectura TCP/IP
- 8 Referencias

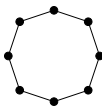
Estructura de las Redes

- Diversas **máquinas** (*hosts*) se conectan a una **subred de comunicaciones** que permite el diálogo entre ellas.
- Dos formas básicas de comunicación directa entre máquinas dentro de la subred de comunicaciones:
 - mediante **enlaces dedicados** (o "punto-a-punto") entre 2 máquinas
 - mediante **enlaces de *broadcast***, compartidos entre más de 2 máquinas
- Normalmente se mezclan muchos enlaces de los dos tipos.
- Para comunicar máquinas que no pueden hacerlo directamente se utilizan **máquinas intermedias** (*routers*).

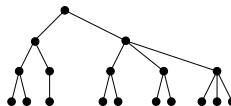
Topologías comunes en Redes



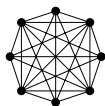
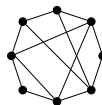
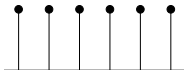
ESTRELLA



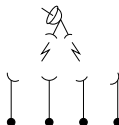
ANILLO



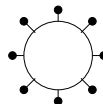
ARBOL

TOTALMENTE
CONECTADAPARCIALMENTE
CONECTADA

BUS



SATELITE



ANILLO

Contenidos

- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores
- 3 Estructura Básica de las Redes
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura**
- 5 Encapsulación
- 6 Arquitectura OSI
- 7 Arquitectura TCP/IP
- 8 Referencias

Problemas a resolver para transmitir por una red

Cuando pensamos, por ejemplo, en **transmitir un fichero de un ordenador a otro a través de una red**, surgen múltiples problemas de los que habría que “preocuparse”:

- ¿El fichero se envía “todo de golpe” o “por trozos”?
- ¿Los contenidos del fichero requieren confidencialidad?
- Los errores de transmisión: ¿pueden “alterarse” los bits que se transmiten y por tanto “estropearse” el contenido del fichero?
- Los bits del fichero ¿se transmiten de la misma forma sobre una Wifi que sobre una fibra óptica que sobre un cable de pares de cobre?
- ¿Habrá problemas si el fichero es de texto y contiene caracteres como ñ, á, ç ... ?
- ¿Cómo saber por qué *routers* intermedios habrá que pasar para transmitir el fichero desde el origen al destino? ¿Habrá varias posibilidades? ¿Cómo se sabe cuál es la mejor?
- ¡Y muchísimos más problemas!

Protocolos de Comunicaciones

Definición de Protocolo de Comunicaciones

Conjunto de **reglas** (interfaces, algoritmos, formatos de mensajes. . .) que conocen las máquinas que intercambian datos a través de una red de comunicaciones.

- Resolveremos los problemas de la comunicaciones utilizando protocolos.
- Como hay muchos problemas a resolver, utilizaremos **varios protocolos**, cada uno de ellos encargado de resolver un sólo problema, o unos pocos problemas relacionados.
- Los protocolos de comunicaciones **son software** que ejecutan las máquinas que se comunican.

Jerarquías de Protocolos

- Los problemas se a resolver son de distinta **naturaleza**: unos muy relacionados con el medio de transmisión y otros totalmente independientes del medio de transmisión.
- Categorizaremos los problemas (y los protocolos que los resuelven) en **niveles**:
 - Diremos que son de **bajo nivel** los problemas y protocolos que están muy directamente relacionados con el medio de transmisión y muy poco relacionados con el tipo de información que se transmmite
 - Diremos que son de **alto nivel** los problemas y protocolos están muy poco relacionados con el medio de transmisión, y muy relacionados con el tipo de información que se transmite
 - Por supuesto, hay problemas y protocolos intermedios entre los de más bajo y más alto nivel.

Principios Fundamentales

- Un protocolo de un nivel **ofrece servicios** a otro de un nivel inmediatamente superior. Estos servicios consisten en resolver los problemas de los que se encarga el protocolo.
- Al protocolo de nivel superior NO le interesa saber **la forma** en que el protocolo de nivel inferior realiza su servicio (es decir, cómo resuelve los problemas de que se encarga), simplemente **utiliza** sus servicios.
- Un protocolo de un nivel sólo interacciona con protocolos del nivel inmediatamente superior e inferior, de forma **jerárquica**.
- Por encima de los protocolos de nivel más alto están las aplicaciones de usuario que se ejecutan en las máquinas.
- Por debajo de los protocolos de nivel más bajo están los medios de transmisión a los que están conectados las máquinas.

Arquitectura de una Red de Ordenadores

Arquitectura de Red

Conjunto de niveles y protocolos de una determinada red de ordenadores.

Las distintas arquitecturas de redes se diferencian en:

- Número de niveles
- Problemas que se encarga de resolver cada nivel

En los ejemplos de las transparencias siguientes supondremos una arquitectura de 4 niveles.

Contenidos

- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores
- 3 Estructura Básica de las Redes
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura
- 5 Encapsulación**
- 6 Arquitectura OSI
- 7 Arquitectura TCP/IP
- 8 Referencias

Encapsulación

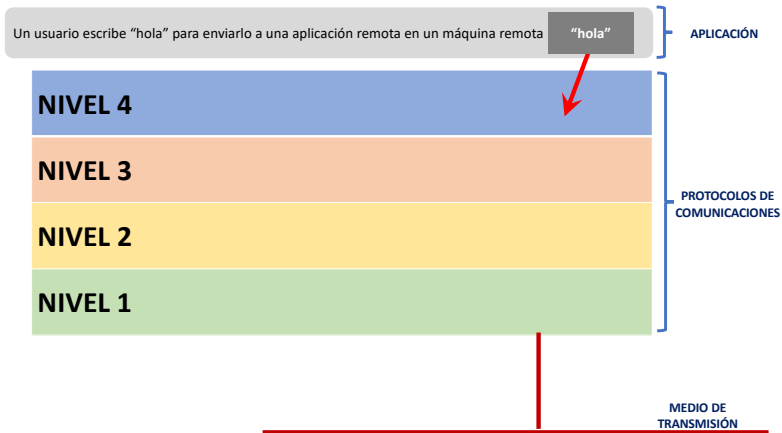
Encapsulación

Principio por el cuál cada protocolo realiza su trabajo de forma modular, separada del resto de protocolos.

- En una máquina que envía datos, cada nivel, para hacer su trabajo:
 - 1 Toma los datos que le pasa nivel inmediatamente superior
 - 2 Añade una **cabecera**: datos de control para resolver los problemas de los que se encarga
 - 3 Pasa el conjunto (cabecera+datos) al nivel inmediatamente inferior
- En una máquina que recibe datos, cada nivel, para hacer su trabajo:
 - 1 Toma los datos que le pasa nivel inmediatamente inferior
 - 2 Consulta la **cabecera** para resolver los problemas de los que se encarga, y la elimina
 - 3 Pasa los datos restantes al nivel inmediatamente superior

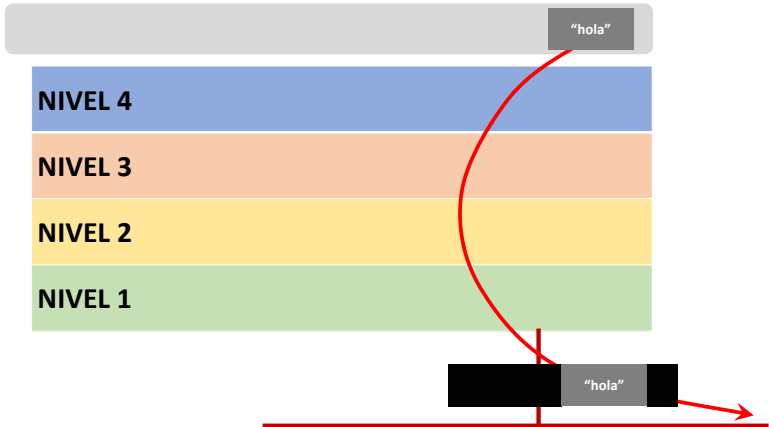
Encapsulación

Envío de datos de una aplicación de una máquina a otra



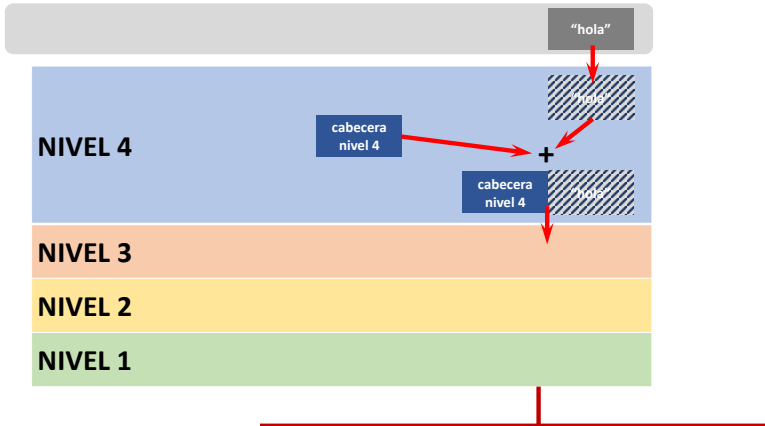
Encapsulación

Máquina origen – Aplicación



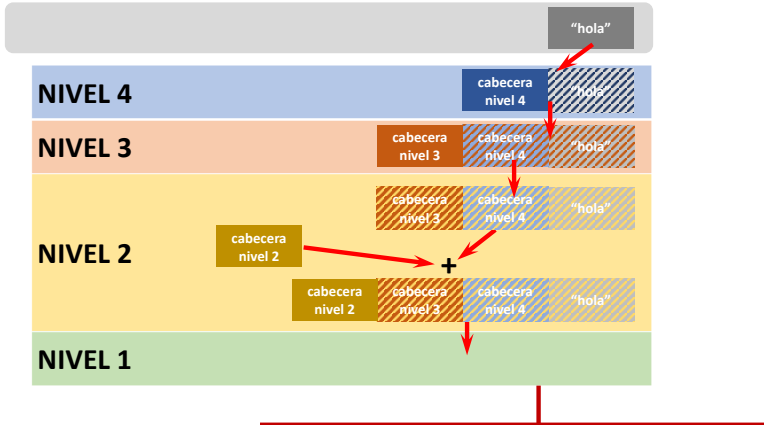
Encapsulación

Máquina origen – Nivel 4



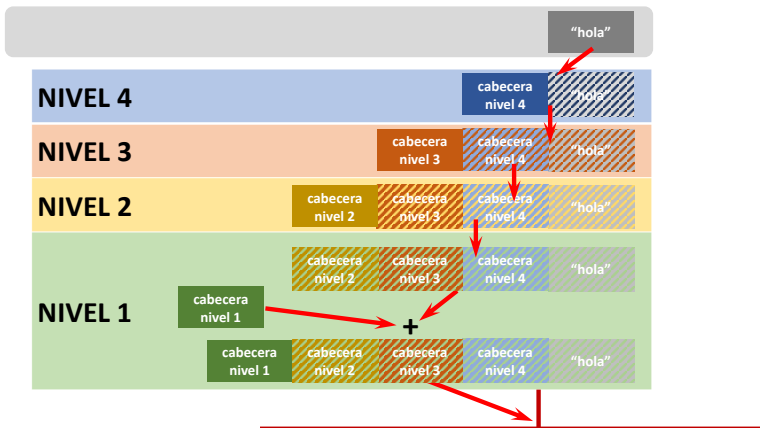
Encapsulación

Máquina origen – Nivel 2



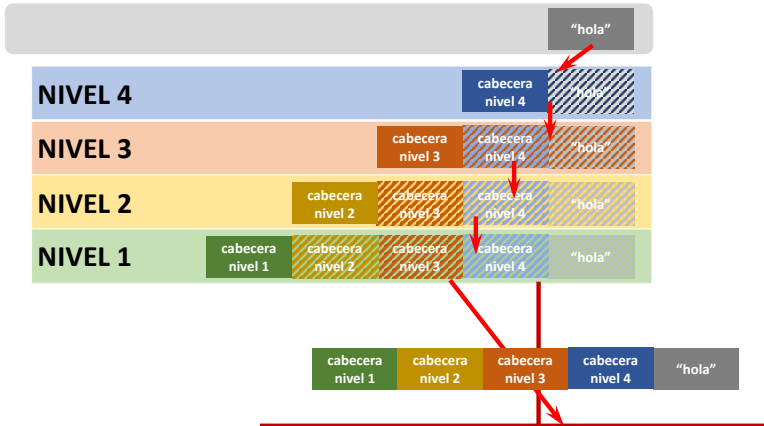
Encapsulación

Máquina origen – Nivel 1



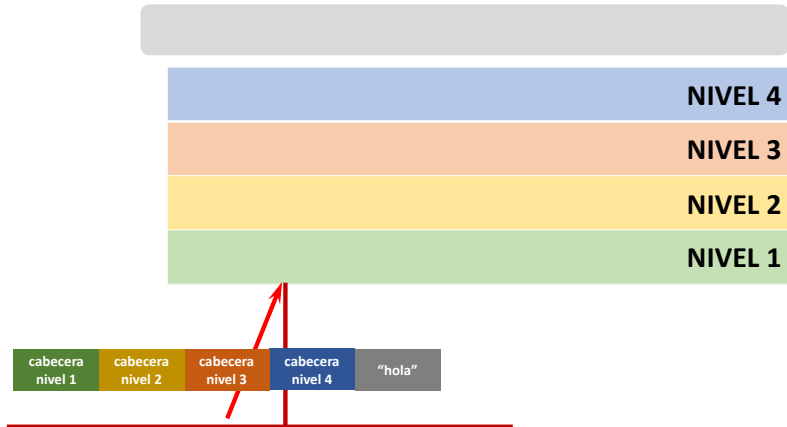
Encapsulación

Máquina origen – Medio de transmisión



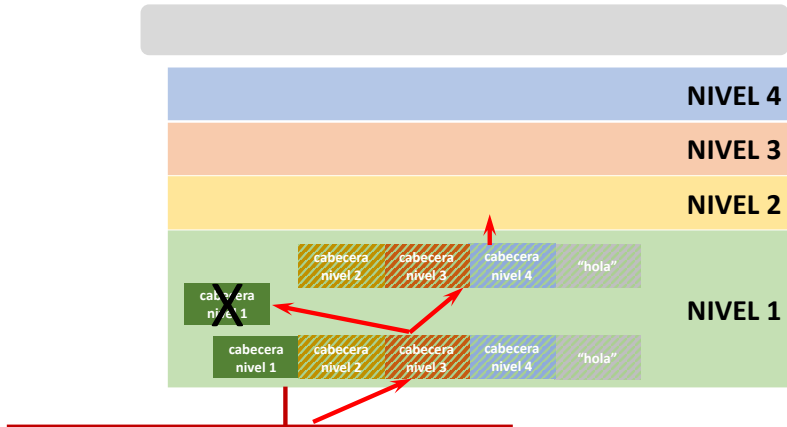
Encapsulación

Máquina destino – Medio de transmisión



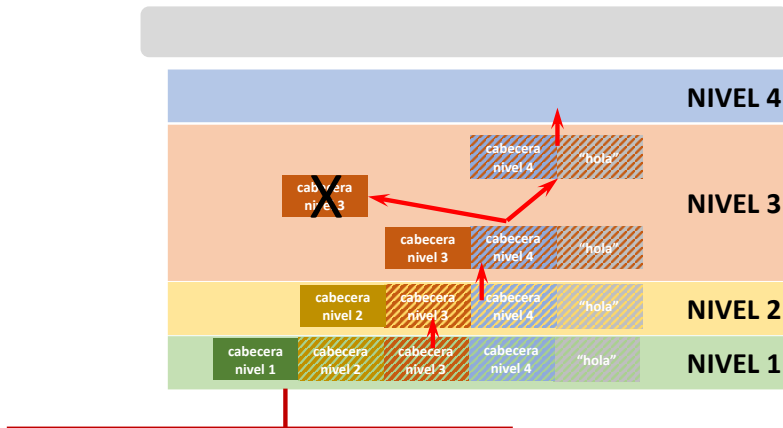
Encapsulación

Máquina destino – Nivel 1



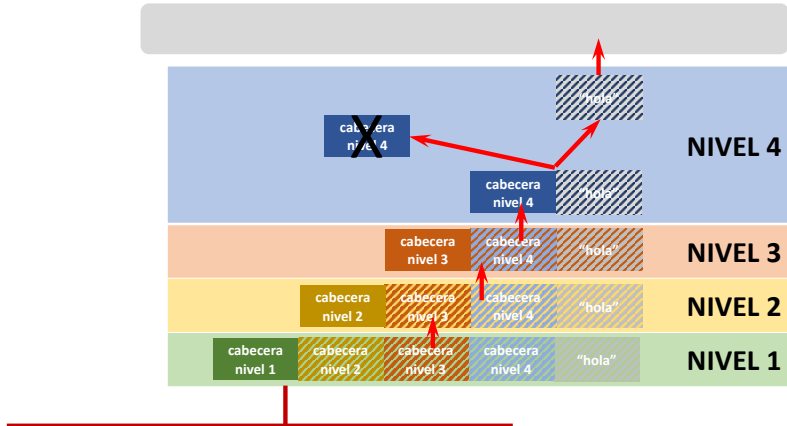
Encapsulación

Máquina destino – Nivel 3



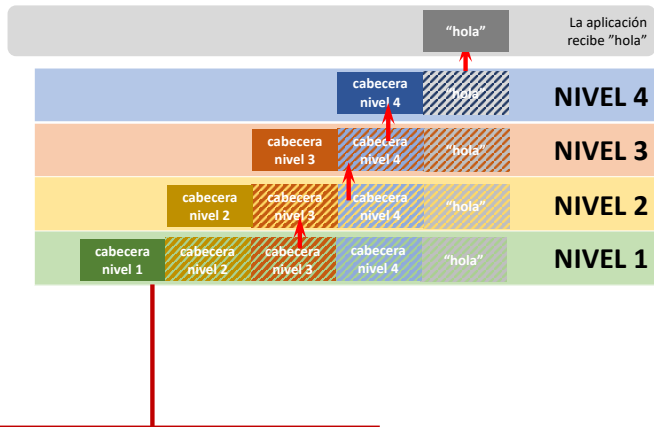
Encapsulación

Máquina destino – Nivel 4



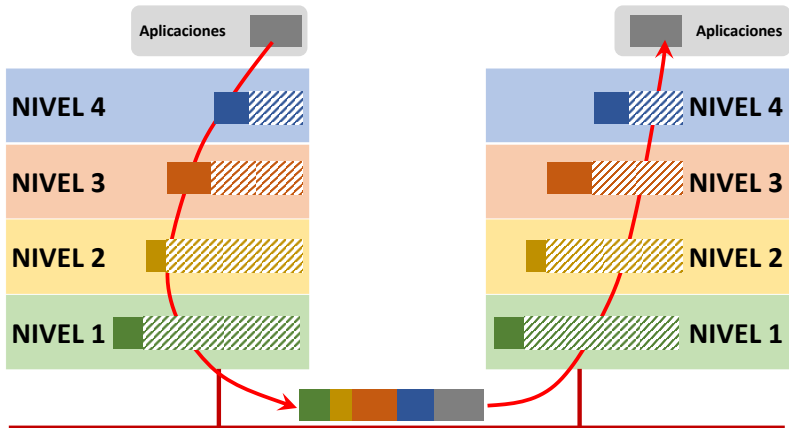
Encapsulación

Máquina destino – Aplicación



Encapsulación

Todo junto



Encapsulación

Ejemplo de un paquete capturado: Resaltada cabecera nivel más bajo (Ethernet)

Ethernet	IP	UDP	Aplicación
de029429fcd48ed568dda2ce0800	45000021685d40004011bd6b0a0000020b000002	800080e8000d0b17	686f6c610a

Apply a display filter ... <=>

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	8e:d5:68:dd:...	Broadcast	ARP	42	Who has 10.0.0.1? Tell 10.0.0.2
2	0.000105	de:02:94:29:...	8e:d5:68:dd:...	ARP	42	10.0.0.1 is at de:02:94:29:fc:d4
3	0.000188	10.0.0.2	11.0.0.2	UDP	47	filenet-tms(32768) → 33000 Len=5
4	0.978196	10.0.0.2	11.0.0.2	UDP	48	filenet-tms(32768) → 33000 Len=6

Frame 3: 47 bytes on wire (376 bits), 47 bytes captured (376 bits)

- Ethernet II, Src: 8e:d5:68:dd:a2:ce (8e:d5:68:dd:a2:ce), Dst: de:02:94:29:fc:d4 (de:02:94:29:fc:d4)
- Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.2, Dst: 11.0.0.2
- User Datagram Protocol, Src Port: filenet-tms (32768), Dst Port: 33000 (33000)
- Data (5 bytes)

```

0000  de 02 94 29 fc d4 8e d5 68 dd a2 ce 08 00 45 00  (...). . . . . h . . . . . E.
0010  00 21 68 5d 40 00 40 11 bd 6b 0a 00 00 02 0b 00  !h]@.@. .k.....
0020  00 02 80 00 80 e8 00 0d 0b 17 68 6f 6c 61 0a  ..... ..hola.
  
```

Ethernet (eth), 14 bytes

Packets: 4 · Displayed: 4 · Marked: 100.0 · Load time: 0:0.0 · Profile: Default

Encapsulación

Ejemplo de un paquete capturado: Resaltada cabecera nivel intermedio (IP)

Ethernet	IP	UDP	Aplicación
de029429fcd48ed568dda2ce0800	45000021685d40004011bd6b0a0000020b000002	800080e8000d0b17	686f6c610a

Apply a display filter ... <=>

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	8e:d5:68:dd:...	Broadcast	ARP	42	Who has 10.0.0.1? Tell 10.0.0.2
2	0.000105	de:02:94:29:...	8e:d5:68:dd:...	ARP	42	10.0.0.1 is at de:02:94:29:fc:d4
3	0.000188	10.0.0.2	11.0.0.2	UDP	47	filenet-tms(32768) → 33000 Len=5
4	0.978196	10.0.0.2	11.0.0.2	UDP	48	filenet-tms(32768) → 33000 Len=6

Frame 3: 47 bytes on wire (376 bits), 47 bytes captured (376 bits)

- Ethernet II, Src: 8e:d5:68:dd:a2:ce (8e:d5:68:dd:a2:ce), Dst: de:02:94:29:fc:d4 (de:02:94:29:fc:d4)
- Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.2, Dst: 11.0.0.2
- User Datagram Protocol, Src Port: filenet-tms (32768), Dst Port: 33000 (33000)
- Data (5 bytes)

```

0000  de 02 94 29 fc d4 8e d5 68 dd a2 ce 08 00 45 00  ...). ... h....E.
0010  00 21 68 5d 40 00 40 11 bd 6b 0a 00 00 02 0b 00  !h]@.@. .k.....
0020  00 02 80 00 08 e8 00 0d 0b 17 68 6f 6c 61 0a  .... ..hola.
  
```

Internet Protocol Version 4 (ip), 20 bytes

Packets: 4 · Displayed: 4 · Marked: 100.0 · Load time: 0:0.0 · Profile: Default

Encapsulación

Ejemplo de un paquete capturado: Resaltada cabecera nivel más alto (UDP)

Ethernet	IP	UDP	Aplicación
de029429fcd48ed568dda2ce0800	45000021685d40004011bd6b0a0000020b000002	800080e8000d0b17	686f6c610a

Apply a display filter ... <=>/> Expression... +

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	8e:d5:68:dd:...	Broadcast	ARP	42	Who has 10.0.0.1? Tell 10.0.0.2
2	0.000105	de:02:94:29:...	8e:d5:68:dd:...	ARP	42	10.0.0.1 is at de:02:94:29:fc:d4
3	0.000188	10.0.0.2	11.0.0.2	UDP	47	filenet-tms(32768) → 33000 Len=5
4	0.978196	10.0.0.2	11.0.0.2	UDP	48	filenet-tms(32768) → 33000 Len=6

Frame 3: 47 bytes on wire (376 bits), 47 bytes captured (376 bits)

- Ethernet II, Src: 8e:d5:68:dd:a2:ce (8e:d5:68:dd:a2:ce), Dst: de:02:94:29:fc:d4 (de:02:94:29:fc:d4)
- Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.2, Dst: 11.0.0.2
- User Datagram Protocol, Src Port: filenet-tms (32768), Dst Port: 33000 (33000)
- Data (5 bytes)

```

0000  de 02 94 29 fc d4 8e d5 68 dd a2 ce 08 00 45 00  ...). ... h....E.
0010  00 21 68 5d 40 00 40 11 bd 6b 0a 00 00 02 0b 00  !h]e@. .k.....
0020  00 02 80 00 80 e8 00 0d 0b 17 68 6f 6c 61 0a  .... ..hola.
  
```

User Datagram Protocol (udp), 8 bytes

Packets: 4 · Displayed: 4 · Marked: 100.0 · Load time: 0:0.0 · Profile: Default

Encapsulación

Ejemplo de un paquete capturado: Resaltados datos de la aplicación

Ethernet	IP	UDP	Aplicación
de029429fcd48ed568dda2ce0800	45000021685d40004011bd6b0a0000020b000002	800080e8000d0b17	686f6c610a

Apply a display filter ... <=>/> Expression... +

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	8e:d5:68:dd:...	Broadcast	ARP	42	Who has 10.0.0.1? Tell 10.0.0.2
2	0.000105	de:02:94:29:...	8e:d5:68:dd:...	ARP	42	10.0.0.1 is at de:02:94:29:fc:d4
3	0.000188	10.0.0.2	11.0.0.2	UDP	47	filenet-tms(32768) → 33000 Len=5
4	0.978196	10.0.0.2	11.0.0.2	UDP	48	filenet-tms(32768) → 33000 Len=6

Frame 3: 47 bytes on wire (376 bits), 47 bytes captured (376 bits)

- Ethernet II, Src: 8e:d5:68:dd:a2:ce (8e:d5:68:dd:a2:ce), Dst: de:02:94:29:fc:d4 (de:02:94:29:fc:d4)
- Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.2, Dst: 11.0.0.2
- User Datagram Protocol, Src Port: filenet-tms (32768), Dst Port: 33000 (33000)
- Data (5 bytes)

```

0000  de 02 94 29 fc d4 8e d5 68 dd a2 ce 08 00 45 00  ...). ... h....E.
0010  00 21 68 5d 40 00 00 11 bd 6b 0a 00 00 02 0b 00  !h]@.@. .k.....
0020  00 02 80 00 80 e8 00 0d 0b 17 68 6f 6c 61 0a    ..... ..hola.
  
```

Data (data), 5 bytes

Packets: 4 · Displayed: 4 · Marked: 100.0 · Load time: 0:0.0 · Profile: Default

Contenidos

- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores
- 3 Estructura Básica de las Redes
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura
- 5 Encapsulación
- 6 Arquitectura OSI**
- 7 Arquitectura TCP/IP
- 8 Referencias

Arquitectura OSI

- En 1983 ISO (Organización de Estándares Internacionales) propone un **modelo de referencia** para arquitecturas de redes: **Modelo de Referencia para la Interconexión de Sistemas Abiertos** (*ISO OSI Reference Model*).
- El Modelo OSI no define una implementación de protocolos concreta sino las características que deben tener los protocolos para ser “conformes a OSI”

Arquitectura OSI

Críticas al Modelo OSI

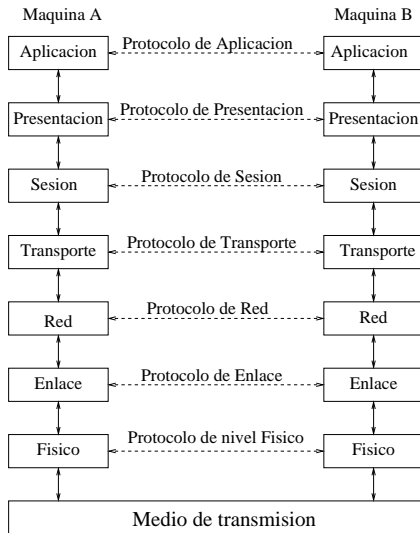
- Surgió demasiado pronto.
- Resulta extremadamente complejo.
- Algunos niveles tienen muchas funciones, y otros muy pocas.
- Algunas funciones no están situadas en el mejor sitio.
- Modelo dominado por una visión “telefónica” de las redes de datos

Hoy la arquitectura OSI ha caído en desuso, pero mucha de su terminología es el **vocabulario básico** en redes de ordenadores. En particular es básico conocer:

- Nombre de cada nivel, y número asociado
- Funcionalidad básica que OSI asignaba a dicho nivel

Arquitectura OSI

La "torre" OSI



Contenidos

- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores
- 3 Estructura Básica de las Redes
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura
- 5 Encapsulación
- 6 Arquitectura OSI
- 7 Arquitectura TCP/IP**
- 8 Referencias

Arquitectura TCP/IP

- Su desarrollo comenzó a finales de los 60, como proyecto financiado por el Gobierno de los Estados Unidos.
- Auténtico *sistema abierto*: Los protocolos y sus implementaciones están disponibles públicamente.
- Constituyen el armazón sobre el que se sitúa Internet.
- No se ajusta exactamente al modelo de referencia OSI, surgió antes y OSI no intentó incluirlo.
- Su éxito (a partir del de Internet) ha hecho que sea la arquitectura más importante y conocida actualmente.

Arquitectura TCP/IP

La “torre” TCP/IP comparada con la “torre OSI”

TCP/IP

OSI

Nivel de Aplicación	Nivel de Aplicación, N7
	Nivel de Presentación, N6
	Nivel de Sesión, N5
Nivel de Transporte	Nivel de Transporte, N4
Nivel de Red	Nivel de Red, N3
Nivel de Enlace	Nivel de Enlace, N2
	Nivel Físico, N1

Arquitectura TCP/IP

Nivel de Enlace

- Envía paquetes **entre máquinas conectadas al mismo medio** (máquinas “adyacentes” o “vecinas”). Las máquinas que no están conectadas al mismo medio no existen para este nivel.
- Establece la **forma de convertir bits en señales** adecuadas al medio, y viceversa.
- Se ocupa de los **errores de transmisión** (bits alterados por el medio).
- Si el medio es compartido, establece la **forma de compartirlo**.

Protocolos: Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Wifi

En OSI:

- **Nivel Físico**: Forma de convertir bits en señales y viceversa
- **Nivel de Enlace**: Resto de funciones.

Arquitectura TCP/IP

Nivel de Red

- Conoce e **identifica a todas las máquinas de la red**, aunque no sean adyacentes
- Se encarga del **routing** o **encaminamiento**: Alcanzar máquinas no adyacentes a través de máquinas intermedias (**routers**).
 - se encarga de encontrar las “mejores rutas”
 - intenta solventar la **congestión** en *routers* utilizados en demasiadas rutas.

Protocolos: IP

En OSI:

- **Nivel de Red**: Mismas funciones que en TCP/IP.

Arquitectura TCP/IP

Nivel de Transporte

- Se encarga de **organizar el acceso múltiple a la red** de los diversos procesos de la misma máquina que quieran usarla, mediante el uso de **puertos**.
- Puede encargarse de que **la comunicación sea fiable**: al receptor no le falta nada de lo enviado por el emisor, y tiene todo en orden. NOTA: A veces se utiliza un protocolo de nivel de transporte no fiable.

Protocolos: TCP, UDP

En OSI:

- **Nivel de Transporte**: Mismas funciones que en TCP/IP.

Arquitectura TCP/IP

Nivel de Aplicación

- Se encarga de resolver otros problemas no resueltos en los niveles inferiores y que sean de interés las aplicaciones.

Protocolos: HTTP, DNS, FTP, SMTP, SSH

En OSI:

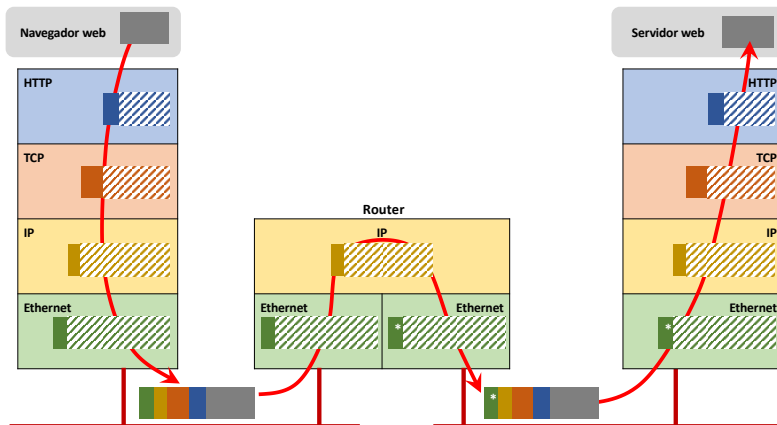
- **Nivel de Sesión**: Resuelve problemas de sincronización entre máquinas para aplicaciones que lo precisen
- **Nivel de Presentación**: Resuelve problemas de conversión de formatos para transmisiones entre máquinas diferentes.
Ejemplo: transmitir un entero de una máquina de 32 bits a una de 64 bits.
- **Nivel de Aplicación**: Otros problemas.

Extremo-a-extremo vs. Salto-a-salto

- El nivel de Enlace realiza su trabajo en nodos adyacentes que son parte del trayecto entre los extremos que se comunican.
- El nivel de Red realiza su trabajo en todos los nodos que forman parte del trayecto entre los extremos que se comunican.
- Los niveles de Transporte y Aplicación realizan su trabajo exclusivamente en los extremos finales que se comunican, sin tener en cuenta si son adyacentes o no. No intervienen en los nodos intermedios.
- Se dice que los niveles de Enlace y Red son **salto-a-salto** (*hop-by-hop*).
- Se dice que los niveles de Transporte y Aplicación son **extremo-a-extremo** (*end-to-end*).

Arquitectura TCP/IP

Ejemplo: Cliente y servidor web con router intermedio



Contenidos

- 1 Introducción: el ordenador
- 2 Propósito de las Redes de Ordenadores
- 3 Estructura Básica de las Redes
- 4 Protocolos. Jerarquías de Protocolos. Arquitectura
- 5 Encapsulación
- 6 Arquitectura OSI
- 7 Arquitectura TCP/IP
- 8 Referencias**

Referencias

- A. Tanenbaum, **Redes de Computadores (4ª ed.)**: Cap. 1 (1.1, 1.2, 1.3, 1.4).
- J. F. Kurose, K. W. Ross, **Computer Networking: A Top-Down Approach (4th ed)**: Cap.1 (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5).