

# Tema 1. Introducción a las comunicaciones y redes de computadoras. Arquitecturas

## 1. Comunicación de datos

La comunicación de datos tiene como objetivo intercambiar información entre dos entidades. Se puede representar mediante su modelo en bloques en la figura 1.

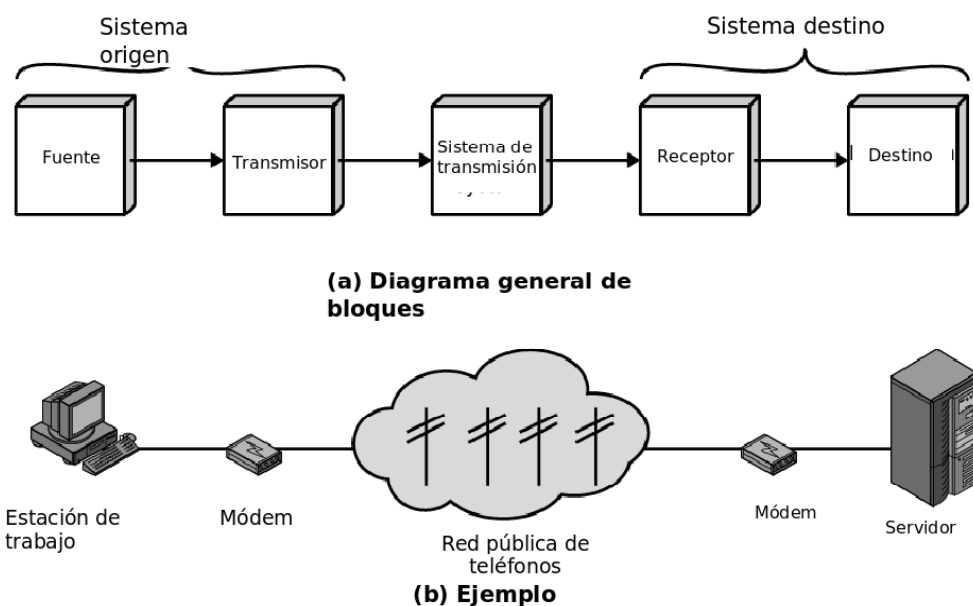


Figura 1: Modelo en bloques de la comunicación de datos.

La **fuentes** genera los datos a ser transmitidos, el **transmisor** (se suele simplificar por **Tx**) convierte los datos en señales capaces de ser transmitidas, el **sistema de transmisión** transmite los datos, el **receptor** (se suele simplificar por **Rx**) convierte la señal recibida en datos y el **destino** toma y procesa los datos del receptor. Al conjunto fuente/transmisor y destino/receptor se le denomina **host**.

Tareas de un sistema de comunicación de datos:

- Utilización del sistema de transmisión.
- Implementación de la “Interfaz con el medio de transmisión”. Son señales electromagnéticas y hay que adaptarlas
- Generación de la señal.
- Sincronización. Control del comienzo y fin de la señal.
- Gestión del intercambio.
- Detección y corrección de errores.
- Control de flujo.

- Direccionamiento y encaminamiento.
- Recuperación.
- Formato de mensajes.
- Seguridad.
- Gestión de red.

Una red se caracteriza por tener una tecnología concreta de su transmisor, sistema de comunicación y receptor. La interconexión de redes requiere de conversores de tecnologías de transmisión/recepción. La principal interconexión de redes actualmente es Internet.

Cuando la comunicación de datos es a través de una red, se sustituye el sistema de transmisión por una red, como se puede ver en la figura 2. Esta situación recibe el nombre de **networking**. Esto tiene varias ventajas:

- Las comunicaciones punto a punto no son eficaces, pues cuando se quieren conectar varios hosts entre sí, se necesitarían muchos sistemas de comunicación.
- Las distancias que pueden abordar conexiones punto a punto están limitadas. Una red de comunicaciones permite salvar distancias ilimitadas.
- Se pueden estandarizar tecnologías y usar de forma masiva, sobre todo en transmisores y receptores. La red toma el control sobre las comunicaciones en detrimento del transmisor y el receptor.

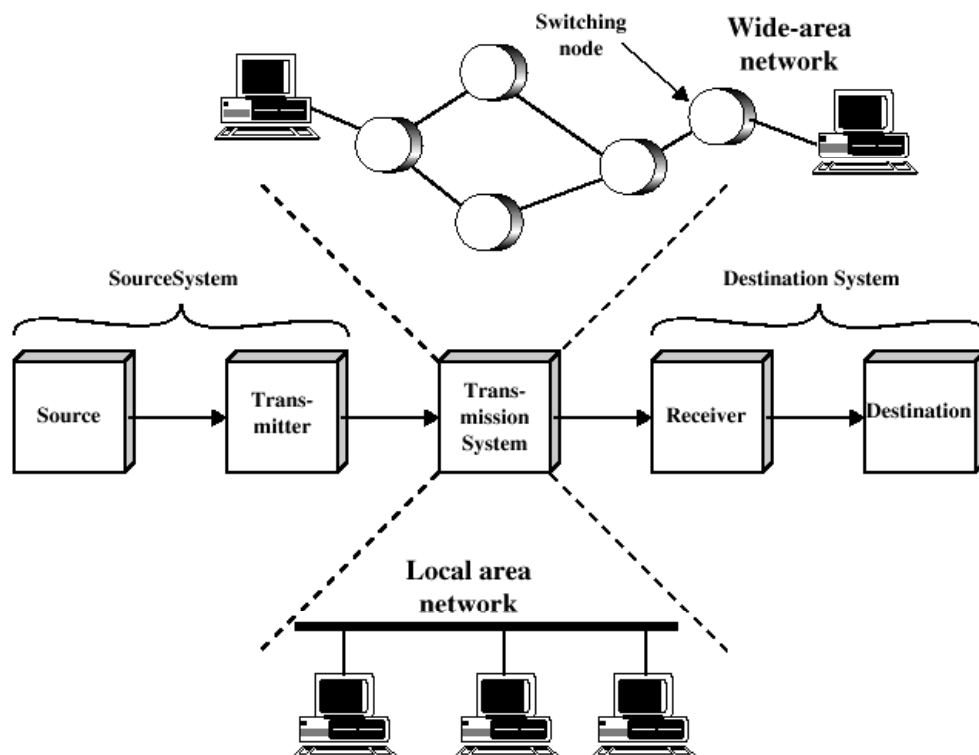


Figura 2: Modelo en bloques de la comunicación de datos a través de redes.

Cuando el sistema de transmisión no es una red, sino un conjunto de redes, se le llama **internetworking**. La figura 3 muestra una interconexión de datos a través de varias redes con tecnologías habituales en Internet.

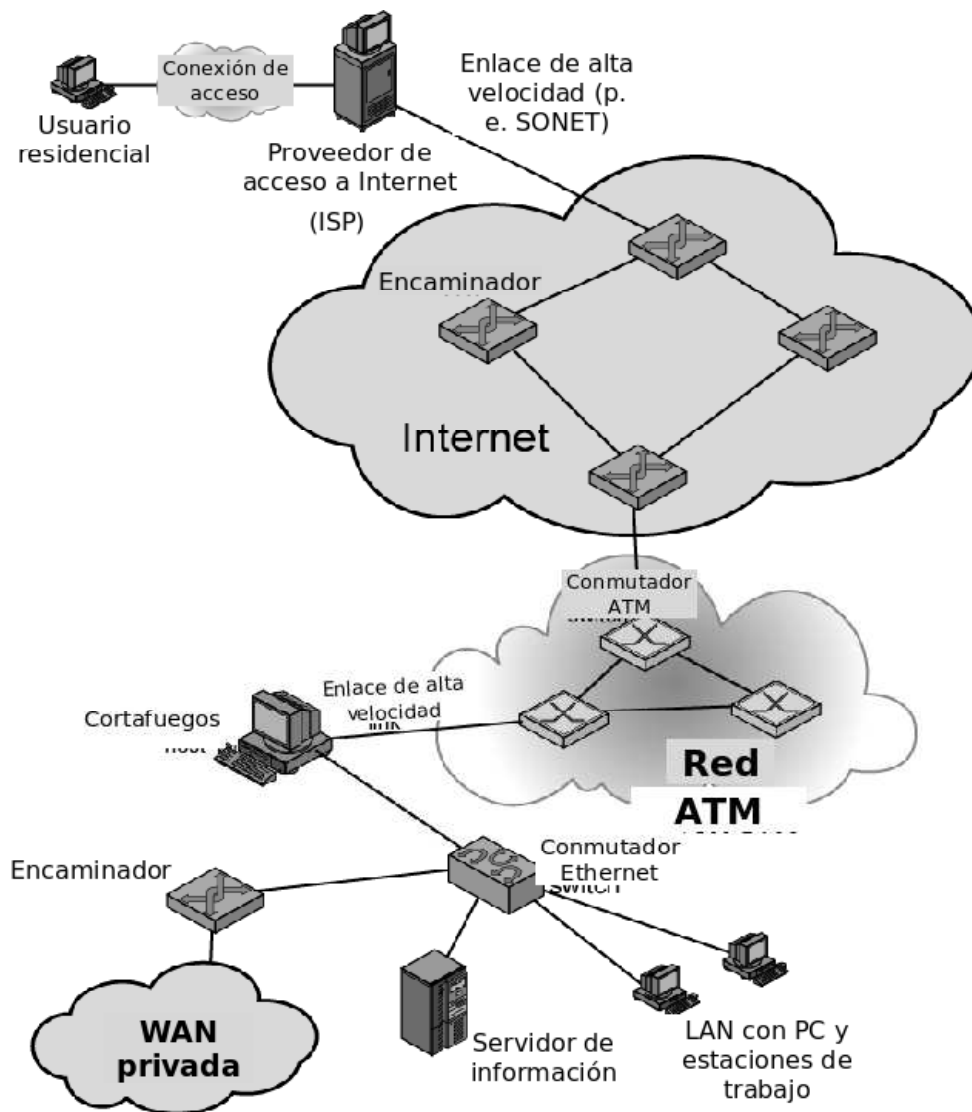


Figura 3: Conexión de datos a través de varias redes.

## 2. Terminología

Existen varios términos y conceptos que se tienen que tener en cuenta en el estudio de la comunicación de datos. Algunos ya se han visto en la sección anterior, como el emisor, receptor y sistema de comunicación.

- Medio de transmisión. Es el medio físico por el que viajan las señales que conforman los datos. Se dividen en medios guiados y medios no guiados o inalámbricos.
- Canal de comunicaciones. El medio físico se puede dividir en canales, de forma que se puede organizar mejor la comunicación de datos y la compartición del medio. Como analogía, puede compararse el medio físico como una autopista, y los canales como los carriles de la misma. La división en canales se suele hacer mediante técnicas de multiplexación por división en frecuencia (FDM) o multiplexación por división en el tiempo (TDM).
- Enlace. Es una conexión de datos entre dos dispositivos cualesquiera. Puede tener carácter físico o carácter lógico.
- Enlace directo. Es un enlace a través de un sólo medio de transmisión sin ningún dispositivo intermedio.
- Enlace punto a punto. Es un enlace directo cuando sólo dos dispositivos comparten el medio de transmisión.
- Enlace multipunto. Es un enlace directo cuando varios dispositivos comparten el mismo medio de transmisión.
- Enlace símplex. Cuando la transmisión de datos va en un sólo sentido. Un ejemplo suele ser la señal de televisión o difusión de radio.
- Enlace duplex (o Full Duplex, FD). Cuando la transmisión de datos va en ambos sentidos a la vez. Son necesarios dos canales de comunicación. Un ejemplo claro es el del teléfono, donde hay un canal Tx y otro Rx. Otro ejemplo pueden ser las carreteras de doble sentido.
- Enlace half-duplex (o HD). Cuando la transmisión de datos se produce en ambos sentidos pero por un solo canal, de forma que nunca pueden transmitirse a la vez en ambos sentidos. Un ejemplo claro suelen ser los sistemas llamados Walky-Talky, o manteniendo el símil de transportes, una conexión de tren entre dos ciudades con vía única.

Existen otros términos que requieren de una explicación mas desarrollada.

### 2.1. Ancho de banda

El concepto de ancho de banda, aunque se ha trasladado a la transmisión de datos a través de redes, tiene mucho mas que ver con terminología de telecomunicaciones. Antes de definir ese concepto, se tienen que definir otros no menos importantes.

- Señal. Es la forma física de representación de los datos. El concepto de señal está intimamente ligado al tiempo. De esa forma se puede hablar de señales continuas (que usan valores continuos, sin cambios instantáneos) y señales discretas (con un número finito de valores, con grandes cambios entre unos y otros), o señales periódicas (que se repiten con el tiempo) y no periódicas (que no se repiten en el tiempo). Las señales continuas se suelen llamar señales analógicas y las señales discretas se suelen llamar señales digitales. Una señal se compone por amplitud y por frecuencia. La amplitud es el valor instantáneo de una señal. La frecuencia se define a continuación.
- Frecuencia. Razón a la cual se repite una señal. Se mide en Hercios (Herz o Hz); un hercio es una repetición por segundo. Los canales de comunicaciones tienen un número limitado de frecuencias a las que se puede enviar una señal. El periodo (T) es la inversa de la frecuencia, y mide el tiempo entre dos repeticiones consecutivas. La longitud de onda de una señal es la distancia física que recorre una señal hasta que se vuelve a repetir, es decir, la distancia que recorre al transcurrir un periodo. Las

señales en telecomunicaciones son de naturaleza electromagnética, por lo que la velocidad a la que viajan es la velocidad de la luz en el medio de transmisión.

Si la velocidad de la luz en el medio es  $v$ , el periodo es  $T$ , la frecuencia es  $f$  y la longitud de onda es  $\lambda$ , entonces se cumple:

$$\lambda = v \cdot f = v \cdot \frac{1}{T} \quad (1)$$

- Espectro. Conjunto de frecuencias que componen una señal. Las señales se componen realmente de muchas amplitudes y muchas frecuencias, y se puede demostrar mediante análisis de Fourier que una señal es un conjunto de ondas de forma senoidal. Como ejemplo ilustrativo se muestra el espectro acústico en la figura 4.

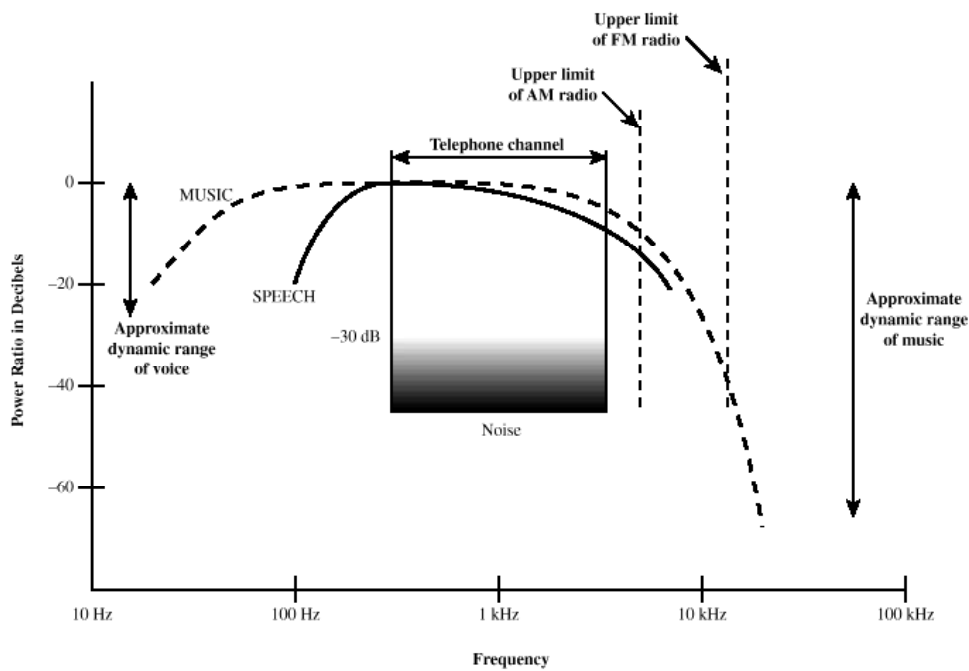


Figure 3.9 Acoustic Spectrum of Speech and Music [CARN95]

Figura 4: Espectro acústico

El **ancho de banda** de un canal de comunicaciones es la diferencia entre la frecuencia mas alta a la que se puede transmitir una señal por ese canal y la frecuencia mas baja. El ancho de banda se mide por tanto en Hercios, y se representa habitualmente por sus siglas en inglés **BW** (BandWidth) o simplemente por W. De forma mas precisa se distingue entre:

- Ancho de banda absoluto: ancho del espectro
- Ancho de banda efectivo: banda mas estrecha de frecuencias que concentran la mitad de la energía

Algunos ejemplos serían:

- BW de la señal de voz:  $100Hz \rightarrow 7KHz \simeq 6,9KHz$
- BW de la línea de teléfono convencional:  $300Hz \rightarrow 3400Hz \simeq 3100Hz$
- BW de la señal de televisión analógica:  $4MHz$

## 2.2. Capacidad de canal

Cualquier sistema de transmisión tiene un limitado ancho de banda, lo que limita la velocidad de transmisión que soporta. La **capacidad de un canal** de comunicaciones es el número máximo de datos por segundo que puede transmitir. Los datos en un canal suelen llamarse símbolos, y la velocidad a la que se transmiten se llama baudios (símbolos/seg). Cuando los símbolos se codifican en binario, existe una relación entre símbolo y bit, y la capacidad de canal se mide en bits/seg y se suele representar por  $C$ .

Existe una relación directa entre el ancho de banda y la capacidad de un canal. Esta relación viene dada por el Teorema de Nyquist:

Teorema de Nyquist: “El número máximo de baudios (símbolos/seg) que se puede transmitir a través de un canal, no puede ser superior que el doble su ancho de banda”.

Si  $C$  es la capacidad del canal,  $W$  el ancho de banda y  $M$  el número de símbolos que se utiliza en el canal, la formulación matemática sería:

$$C_{max} = 2 \cdot W \cdot \log_2 M \text{ bits/seg} \quad (2)$$

No obstante es extremadamente difícil llegar a la máxima capacidad teórica de canal, fundamentalmente porque existen perturbaciones en la transmisión.

### 2.2.1. Perturbaciones en la transmisión

Una perturbación es lo que provoca que la señal recibida en el Rx difiera de la señal transmitida. En las señales analógicas provoca una degradación de la calidad de la señal, y en las señales digitales provoca la existencia de bits erróneos.

Existen diversas causas de las perturbaciones:

- Atenuación y distorsión de la atenuación. La amplitud de la señal cae con la distancia, y depende del medio. La amplitud de la señal recibida debe ser suficiente para ser detectada y suficientemente mayor que el ruido para recuperar los datos sin errores. La atenuación es una función creciente con la frecuencia. .
- Distorsión del retardo. Cuando el espectro del medio es no homogéneo y la señal recibida está distorsionada debido al retardo variable que sufren sus componentes. En esos casos la velocidad de propagación depende de la frecuencia. Ello provoca cambios de modulación de la señal. Solo se produce en medios guiados.
- Ruido. Son señales adicionales insertadas entre transmisor y receptor. Tiene varios orígenes:
  - Ruido térmico: debido a la agitación térmica de los electrones. Está uniformemente distribuido. Se le suele llamar ruido blanco o gaussiano.
  - Ruido de intermodulación: señales que son la suma y la diferencia de las frecuencias originales.
  - Diafonía o Crosstalk: una señal de una línea se introduce en otra.
  - Ruido impulsivo: son pulsos irregulares o chasquidos y suelen ser producidos por interferencia electromagnética externa; (líneas de alta tensión). Tienen como característica fundamental una corta duración y una gran amplitud.

Existe una relación muy utilizada en comunicaciones llamada relación señal/ruido que mide la razón entre la potencia de la señal y la potencia del ruido. Esta relación se representa por  $S/N$  y se mide en decibelios ( $dB$ ) o mili decibelios ( $dBm$ ). Su representación matemática sería:

$$S/N(dB) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{señal}}{P_{ruido}} \right) \quad (3)$$

y

$$S/N(dBm) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{señal}}{P_{ruido}} \right) + 30 \quad (4)$$

La relación entre ambas viene dada por relacionar mili Watios de señal con Watios de Ruido, así:

$$S/N(dB) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{señal}/1Watt}{P_{ruido}|Watt} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{(P_{señal}/1mWatt) \cdot 10^{-3}}{P_{ruido}|Watt} \right) = S/N(dBm) - 30 \quad (5)$$

### 2.2.2. Capacidad de canal con perturbación

Considérense la velocidad de transmisión, el ruido y la tasa de errores. Si se aumenta la velocidad de transmisión, el bit se hace más “corto”, de tal manera que dado un patrón de ruido, este afectará a un mayor número de bits, así, se puede afirmar que dado un nivel de ruido, cuanto mayor es la velocidad de transmisión, mayor es la tasa de errores.

La medida de una capacidad libre de errores se llama capacidad de Shanon y viene dada por:

$$C = W \cdot \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \text{bits/seg} \quad (6)$$

donde  $\frac{S}{N}$  es la relación señal/ruido en unidades naturales.

## 3. Arquitectura de protocolos

Un **protocolo** es un conjunto de reglas que gobierna el intercambio de datos entre dos entidades. Son usados para comunicaciones entre entidades de diferentes sistemas. Los protocolos en ambas entidades deben ser compatibles. .

Un protocolo tiene tres elementos clave:

- Sintaxis. Cubre desde el formato de datos hasta los niveles de señal.
- Semántica. Cubre la información de control, el direccionamiento y manejo de errores (detección y control) entre otras.
- Temporización. Cubre la sintonización de velocidades, el control del flujo y la secuenciación.

Para simplificar los diseños de protocolos, la tarea de comunicaciones es dividida en módulos o capas. Al conjunto de protocolos dividido en capas se le llama **arquitectura de protocolos**. Una arquitectura simplificada en tres capas se muestra en la figura 5 y ofrece dos aspectos básicos de la misma:

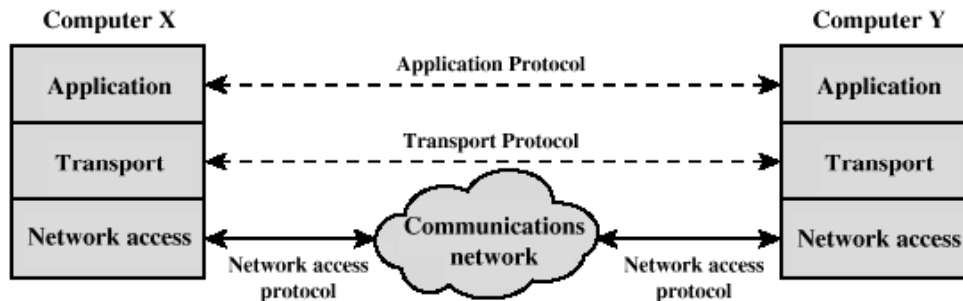


Figura 5: Modelo simplificado en 3 capas

**Requerimientos de direccionado** En la arquitectura simplificada, se requieren dos niveles de direcciones, como puede verse en la figura 6:

- Dirección de red de computadora. Cada computadora necesita una dirección única de red. Se llama NAP (Network Access Point)
- Dirección de computadora de aplicación. Cada aplicación necesita una única dirección dentro del ordenador. Se llama SAP (Service Access Point).

**Unidades de datos de los protocolos o PDU (Protocol Data Units)** Son las unidades de datos de intercambio entre niveles iguales de diferentes computadoras. La información de control, es añadida a la del usuario en cada nivel. Se nombran en función de la capa en la que se comuniquen:

- PDU de aplicación. Son los datos de usuario.

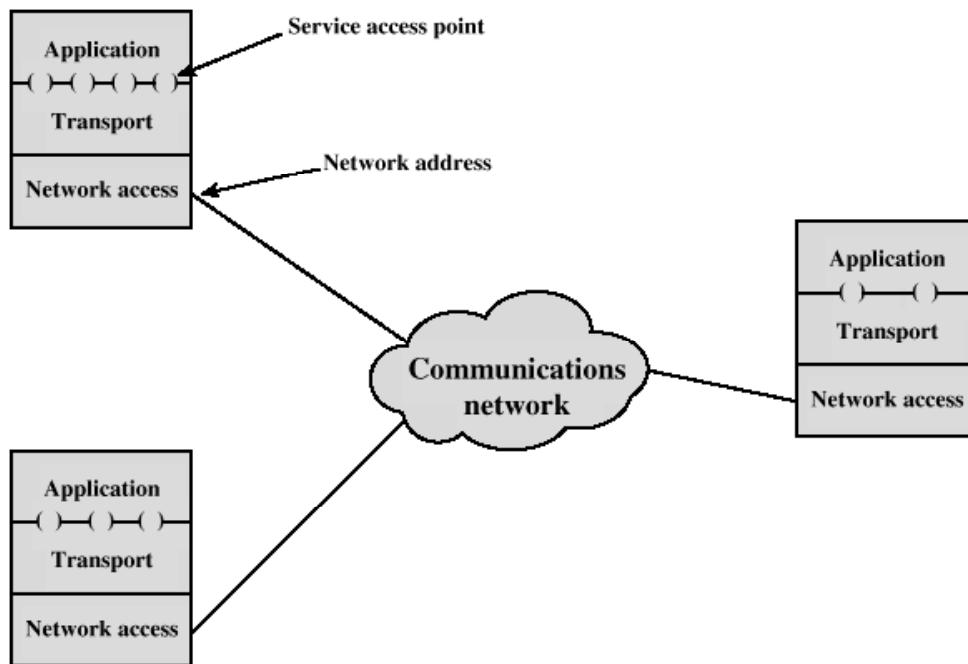


Figura 6: Aspectos del direccionamiento

- PDU de Transporte. El nivel de transporte puede fragmentar los datos de usuario. Cada fragmento tiene una cabecera añadida:
  - SAP de destino.
  - Número de secuencia.
  - Código de detección de errores.
  - Otros
- PDU de Red. A la PDU de transporte se le añade una cabecera de red que incluye la dirección de red para la computadora destino, petición de recursos, prioridades etc.

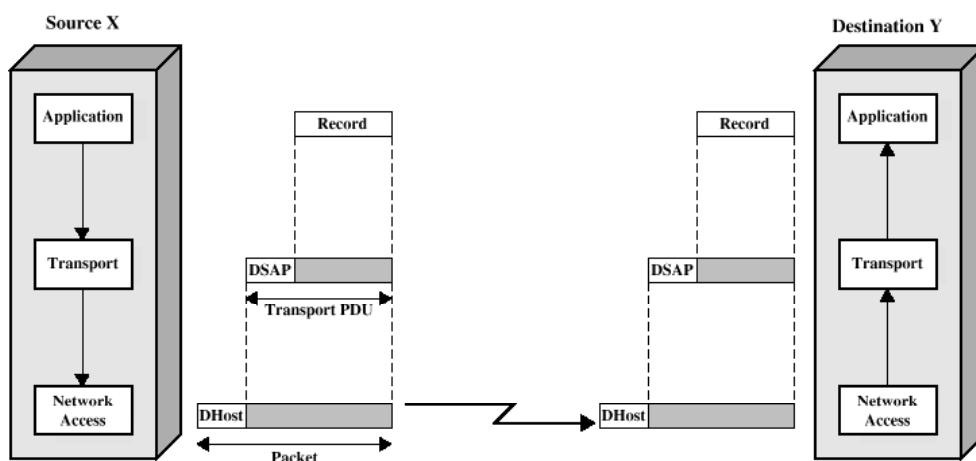


Figura 7: Aspectos de las unidades de datos de protocolo (PDU)

No obstante, existen varias arquitecturas de protocolos, a destacar la arquitectura OSI y la arquitectura TCP/IP.



### 3.1. Funciones de un protocolo

**Encapsulamiento** genera información de control que se añade a los datos de las capas superiores. Esta información es el direccionamiento, la detección de errores y campos de control del protocolo.

**Segmentación y ensamblado** división de los datos de las capas superiores en paquetes menores. Tiene como ventajas la adecuación del tamaño de los paquetes a las diversas tecnologías de enlace, una gestión del ancho de banda mas equitativo y un control de errores mas eficaz.

En cambio también tiene algunas desventajas, como la existencia de mas información a enviar o mas interrupciones de los procesadores.

El ensamblado es el proceso contrario y se realiza en destino.

**Control de la conexión** solo se usa en transferencias orientadas a conexión. Establecimiento → transferencia de datos → Cierre

**Entrega en orden** sobre todo en protocolos orientados a conexión. Necesidad de un número currrens en la PDU.

**Control del flujo** El transmisor y el receptor no tienen porqué ir a la misma velocidad. El receptor es el que limita el flujo descartando paquetes. Existen varios esquemas, en particular los esquemas de parada-espera, que piden confirmación para cada PDU. Algunos protocolos eficientes dan créditos del receptor al emisor; entre estos esquemas se encuentra el de ventana deslizante, utilizado por el protocolo de transporte TCP. Se usa mucho a nivel de aplicación, sobre todo en redes modernas donde las capas inferiores son muy eficientes y seguras.

**Control de errores** Consiste en la detección y gestión del error. En general, la gestión del error consiste en una retransmisión. Se usa sobre todo en la capa de transporte, pero se pude usar en otras capas.

**Direccionamiento** Puede haber direccionamiento en cada capa de la arquitectura.

**Multiplexación** Varias conexiones en un sistema. Está relacionado con el direccionamiento.

**Servicios de Transmisión** Son servicios adicionales como la seguridad, prioridad o calidad de servicio (QoS). Suele depender de las capas subyacentes.

### 3.2. Servicios entre capas.

Son servicios de una capa a la que se encuentra encima. Se suelen presentar mediante el uso de primitivas (función que se va a ofrecer a la capa superior, p.ej. “send – estoy a la espera de datos” y “deliver – he recibido un dato” en IP) y de parámetros (datos e información de control que se ofrecen a la capa superior para que los procese e interprete; suelen ir en las primitivas, p. Ej.: dirección origen, dirección destino, protocolo etc). Se suelen ofrecer dos tipos de servicios:

- Servicio orientados a conexión: este servicio simula a la capa superior un tubo continuo de comunicación. Produce un establecimiento de la conexión, uso y liberación. Casi siempre la capa de transporte ofrece ese servicio a la de aplicación. Un ejemplo es el servicio telefónico.
- Servicio sin conexión: este servicio ofrece a la capa superior los paquetes de la misma forma que le van llegando. Puede encaminar cada paquete de forma diferente. Además, cada paquete lleva la dirección completa del destino y un número de secuencia para reensamblaje. Un ejemplo es el servicio postal.

### 3.3. Modelo OSI

Interconexión de Sistemas Abiertos u Osi (Open Systems Interconnection). Desarrollado por el International Organization for Standardization (ISO). Un estándar que llegó muy tarde. TCP/IP es el estandar de facto. No obstante ha servido de referencia a numerosas arquitecturas de protocolos o lenguajes de programación .

Las diferentes capas y una descripción básica se muestran en la figura 8

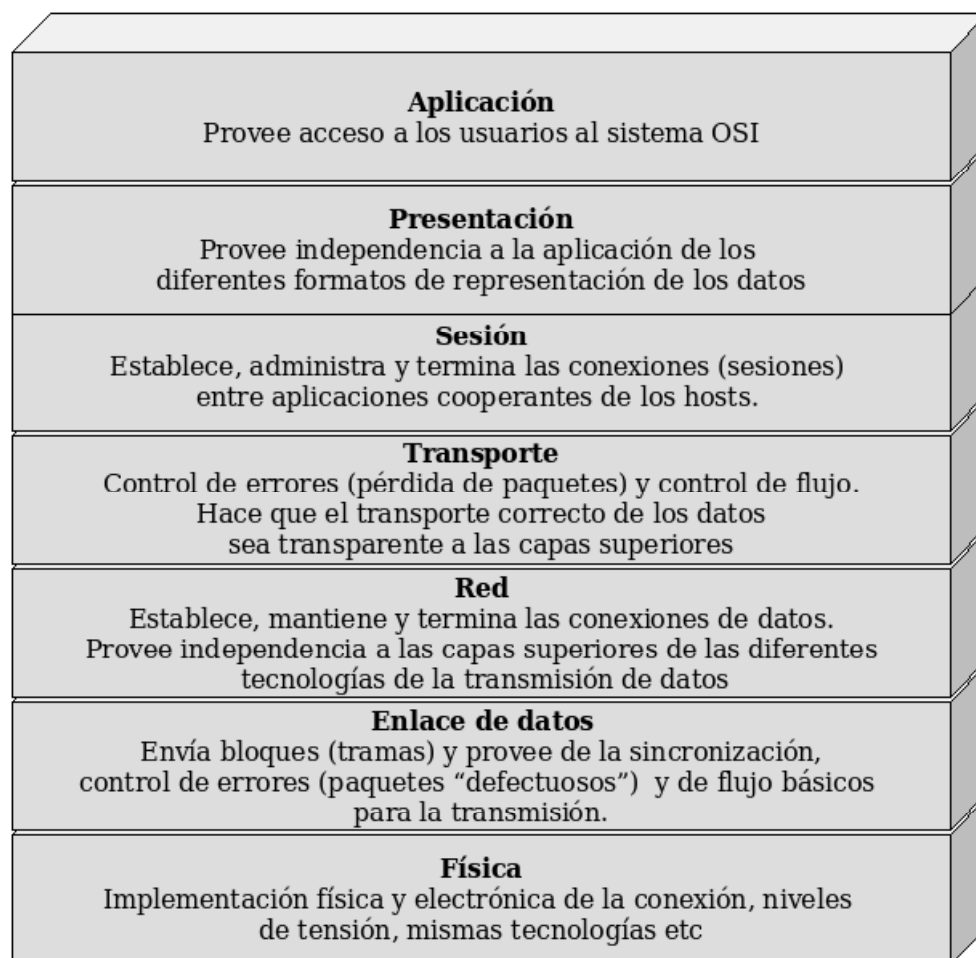


Figura 8: Arquitectura OSI

### 3.4. Modelo TCP/IP

Desarrollado por la US Defense Advanced Research Project agency (DARPA) para su red conmutada de paquetes (ARPANET). Usado por Internet, hasta el punto de poder definir estar en Internet como “... tener dirección IP válida en Internet y usar la pila de protocolos TCP/IP ...”. Es un estandar de facto.

La diferentes capas de la arquitectura TCP/IP pueden verse en la figura 9.

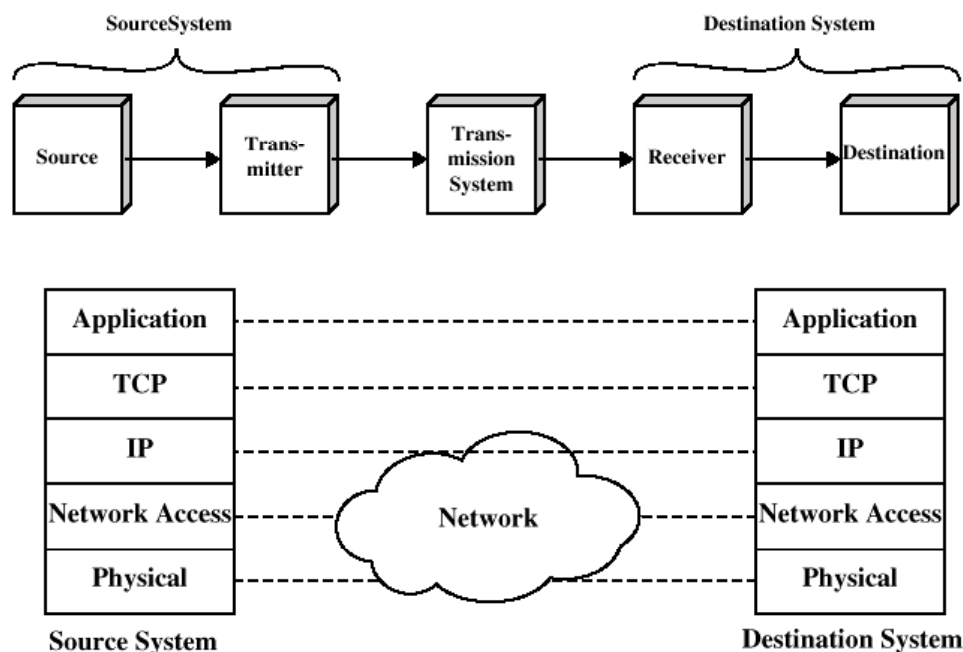


Figura 9: Arquitectura TCP/IP

**Capa Física:** Abarca la interfaz física entre el equipo transmisor de datos (por ejemplo, la computadora) y el medio de transmisión o red. Tiene que tener en cuenta entre otros, las características del medio de transmisión, los niveles de señales, la codificación o la velocidad de datos

**Capa de acceso a Red:** Realiza el intercambio de datos entre el sistema final y la red. Se la suele llamar capa de enlace o nivel 2. Se encarga de:

- Hacia la capa física (saliente): convierte las tramas en una corriente de bits en bruto, para lo cual enmarca las tramas para su delimitación y control.
- Desde la capa física (entrante): se encarga de convertir una corriente de bits en bruto (provenientes de la capa física) en una secuencia de marcos, tramas o celdas.
- Proporciona la dirección de destino, y en general mantiene tablas que relacionan la dirección de acceso a red con la dirección IP.

Esta capa es la que mas diferencia una tecnología de otra. Puede invocar servicios como solicitar determinada prioridad para un paquete.

**Capa de Internet (IP):** Los sistemas o hosts pueden estar conectados a redes de diferentes tecnologías y sistemas de direccionamiento de enlace. Hace funciones de encaminamiento (routing) a través de múltiples redes. Esta capa suele estar implementada en sistemas finales y routers.

**Capa de Transporte:** Se encarga entre otras de la entrega fiable y segura de datos o de la entrega en orden. Podría estar en la capa de aplicación, pues no interacciona con la red. Se dedica a poner los paquetes en orden y a solicitar los que faltan o están defectuosos. Se puso esta capa porque la mayoría de las aplicaciones la necesitan (TCP). Algunas aplicaciones (voz, video) pueden prescindir de un control exhaustivo y utilizan UDP.

**Capa de Aplicación:** Es el soporte para aplicaciones de usuario como el correo electrónico, la web, o aplicaciones multimedia.

### 3.5. OSI vs TCP/IP

Ambas arquitecturas tienen similitudes y filosofías paralelas. La figura 10 muestra una comparativa de ambas arquitecturas.

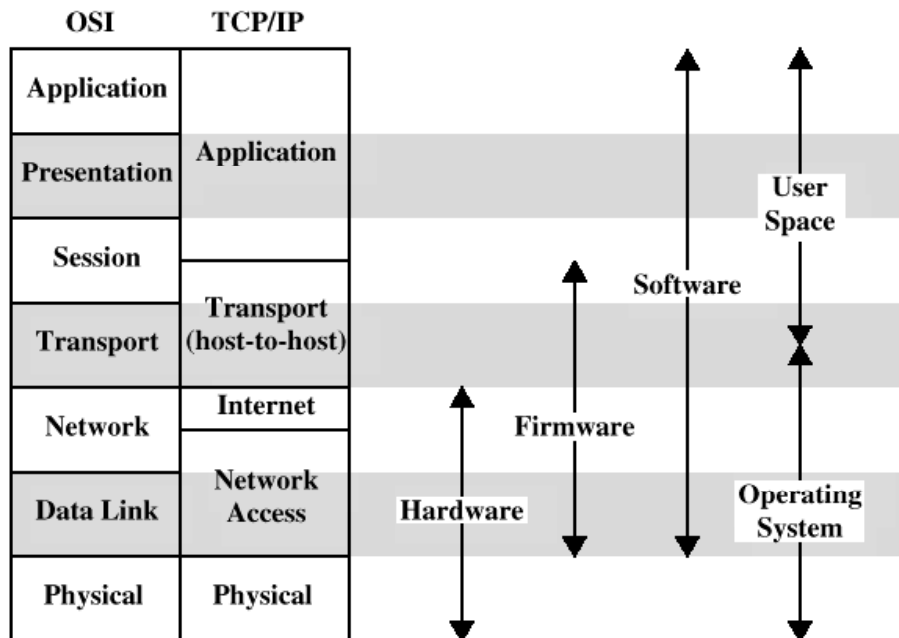


Figura 10: Comparación OSI vs TCP/IP

### 3.6. Efectos del encapsulado en la transmisión

- Aumenta la cantidad de información a enviar, de forma que disminuye la eficiencia en la transmisión. Un encapsulado complejo y grande puede perjudicar la comunicación.
- Incrementa el nivel de control de la transmisión de datos y la posibilidad de ofrecimiento de servicios a las capas superiores.
- Delimita las PDUs. Identifica las unidades de datos de protocolos marcándolas con un principio y eventualmente con un final.

## 4. Estándares o Normas

Son necesarios para permitir interoperabilidad entre equipos. Tienen numerosas ventajas:

- Garantiza un gran mercado para equipos y software.
- Permite comunicarse productos de diferentes fabricantes

Pero también tienen desventajas:

- Paralizan la evolución de la tecnología
- Pueden existir múltiples estándares para la misma tecnología.

Existen diversas organizaciones de normalización para las arquitecturas de protocolos:

- Internet Society
- ISO
- ITU-T (Conocida en francés como CCITT)
- IEEE
- ATM forum
- RFC.

Y otras en particular para la arquitectura TCP/IP

- IANA. Es el que asigna direcciones IP. Organiza los puertos TCP y UDP estándar. Actualmente la gestión ha pasado al ICANN.
- ICANN. Se confunden sus labores con el IANA. Fue posterior. Se les llama habitualmente IANA/ICANN. Se encarga de la gestión de Nombres (DNS) y números (IP's). Está dividido en 5 regiones (Africa, Asia/Australia/Pacífico, Europa, Latinoamérica/Caribe, Norteamérica).