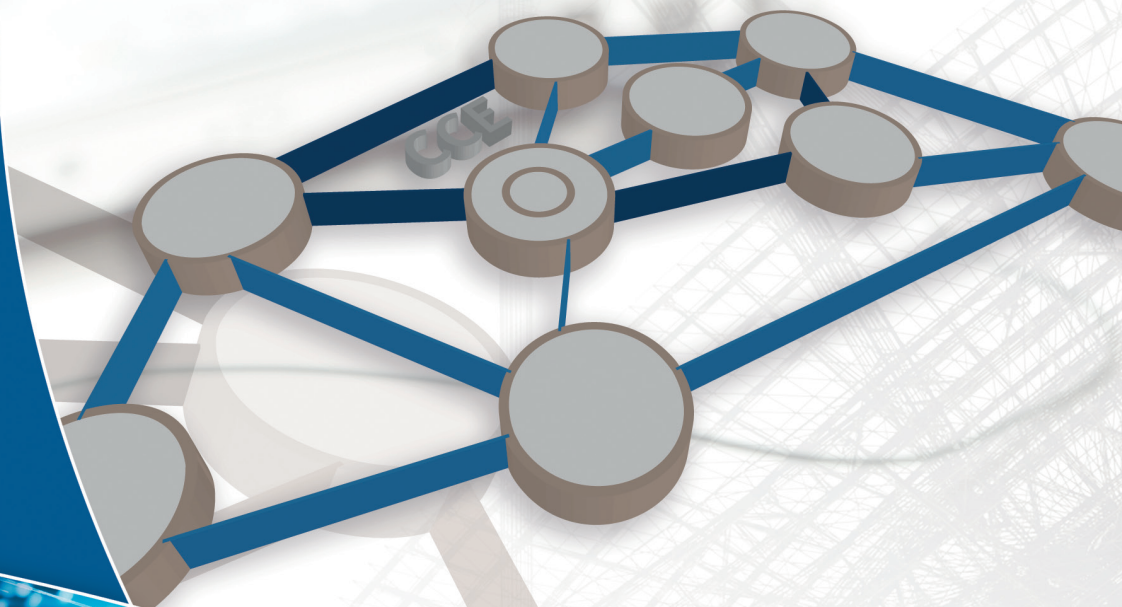


El nivel de red en el modelo de interconexión de redes basado en capas

Fernando Boronat Seguí
Mario Montagud Climent



Fernando Boronat Seguí
Mario Montagud Climent

**EL NIVEL DE RED EN EL MODELO DE
INTERCONEXIÓN DE REDES BASADO EN CAPAS**

**EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**



Esta editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional

Primera edición, 2012

© de la presente edición:

Editorial Universitat Politècnica de València
www.editorial.upv.es

Distribución: pedidos@editorial.upv.es
Tel. 96 387 70 12

© Fernando Boronat Seguí
Mario Montagud Climent

Imprime: byprint percom sl.

ISBN: 978-84-8363-813-2
Depósito Legal: V-0000-2010
Ref. editorial: 282

Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

Impreso en España

Contenido

Acrónimos	1
Capítulo 1. Arquitectura de Red basada en Capas	3
1.1. Introducción al Modelo OSI de ISO.....	3
1.1.1. Modelo de Capas o Niveles.....	4
a. Nivel Físico	9
b. Nivel de Enlace de Datos	10
c. Nivel de Red.....	10
d. Nivel de Transporte.....	11
e. Nivel de Sesión.....	11
f. Nivel de Presentación.....	11
g. Nivel de Aplicación.....	12
1.2. Otras arquitecturas.....	12
Capítulo 2. El Nivel de Red dentro de la Arquitectura de Capas	15
2.1. Introducción	15
2.2. Servicios del nivel de Red.....	16
2.2.1. Servicio de Red Orientado a la Conexión (Connection Oriented o CO)17	
2.2.2. Servicio de Red No Orientado a la Conexión (ConnectionLess o CL). 21	
2.2.3. Controversia entre los dos Tipos de Servicio	23
2.3. Direccionamiento en la Capa o Nivel de Red.	26
2.4. Organización Interna de la Capa o Nivel de Red.	29
2.4.1. Estructura Interna de Tipo Datagrama.	29
2.4.2. Estructura Interna de Tipo Circuito Virtual.....	30
2.4.3. Ejemplo de Operación de Circuito Virtual.....	33
Capítulo 3. La Función de Encaminamiento en el Nivel de Red	37
3.1. Definición de Algoritmo de encaminamiento	37

3.1.1. Propiedades de un Algoritmo de Encaminamiento.....	37
3.1.2. Criterios a seguir por los Algoritmos de Encaminamiento.....	39
3.1.3. Tablas de Encaminamiento.....	39
3.2. Clasificación Preliminar de los Algoritmos de Encaminamiento.	40
3.2.1. Algoritmos Estáticos.	41
a. Encaminamiento por el Camino más Corto.	42
b. Algoritmo de Inundación ('Flooding').....	47
c. Encaminamiento de Camino Múltiple.	49
d. Encaminamiento basado en Flujo.....	50
3.2.2. Algoritmos Adaptativos o Dinámicos.	51
a. Encaminamiento Centralizado.....	53
b. Encaminamiento Distribuido.....	55
3.3. Otras Formas de Encaminamiento.....	85
3.3.1. Encaminamiento Jerárquico.	85
3.3.2. Encaminamiento por Difusión (Broadcast Routing).	88
3.3.3. Encaminamiento por Multidifusión o Multitransmisión (Multicast Routing).....	92
TEMA 4. La Función de Control de Congestión en el Nivel de Red.....	95
4.1. Definición de Congestión en Redes de Datos.....	95
4.2. Factores Causantes de la Congestión.....	96
4.3. Diferencia entre Control de Congestión y Control de Flujo.....	98
4.4. Mecanismos de Control de Congestión.....	99
4.4.1. Control Isorrítmico.	99
4.4.2. Aplicación de Técnicas de Control de Flujo al Control de Congestión.....	100
a. Detección de la Congestión.	101
b. Indicación de la Congestión.	102
c. Ajuste en el Nodo Origen.	103
Ejercicios Propuestos	105
Ejercicios del Capítulo 1	105

Ejercicios del Capítulo 2	107
Ejercicios del Capítulo 3	109
Ejercicios del Capítulo 4	111
Bibliografía	113

Acrónimos

- AFI: *Authority and Format Identifier*.
- CCITT: *Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía (Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony)*.
- CL: *Sin Conexión (ConnectionLess)*.
- CO: *Orientado a la Conexión (Connection Oriented)*.
- CV: *Circuito Virtual*.
- DNIC: *Código Internacional de Red de Datos (Data Network Internal Code)*.
- DSP: *Parte Específica de Dominio (Domain Specific Part)*.
- FTP: *Protocolo de Transferencia de Ficheros (File Transfer Protocol)*.
- HTTP: *Protocolo de Transferencia de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol)*.
- IDI: *Identificador Inicial de Dominio (Initial Domain Identifier)*.
- IDP: *Parte Inicial de Dominio (Initial Domain Part)*.
- IGMP: *Protocolo de Gestión de Grupos en Internet (Internet Group Management Protocol)*.
- IP: *Protocolo de Interred (Internet Protocol)*.
- ISO: *Organización de Estandarización Internacional (International Standardization Organization)*.
- LAN: *Red de Área Local (Local Area Network)*.
- OSI: *Interconexión de Sistemas Abiertos (Open Systems Interconnection)*.
- PA: *Punto de Anclaje (Point of Attachment)*.
- PDU: *Unidad de Datos de Protocolo (Protocol Data Unit)*.
- QoS: *Calidad de Servicio (Quality of Service)*.
- RFC: *Documento de Internet para el que se solicitan comentarios a la comunidad investigadora (Request for Comments)*.
- SAP: *Punto de Acceso al Servicio (Service Access Point)*.
- SDU: *Unidad de Datos de Servicio (Service Data Unit)*.

- SE: Selector (*Selector*).
- SI: Identificador de subred (*Subnet Identifier*).
- SMTP: Protocolo Simple de Transferencia de Correo (*Simple Mail Transfer Protocol*).
- TCP: Protocolo de Control de Transporte (*Transport Control Protocol*).
- UDP: Protocolo de Datagrama de Usuario (*User Datagram Protocol*).
- UIT (ITU): Unión Internacional de las Telecomunicaciones (*International Telecommunication Union*).
- WAN: Red de Área Extensa o Amplia (*Wide Area Network*).

Capítulo 1. Arquitectura de Red basada en Capas

1.1. Introducción al Modelo OSI de ISO

Se entenderá por un Sistema Real como el conjunto de elementos físicos, lógicos y humanos que forman un todo autónomo capaz de procesar y/o transferir información.

Existe gran diversidad de sistemas reales, los cuales evolucionan constantemente. Con la aparición de las aplicaciones distribuidas, que son aquellas que están soportadas por un sistema distribuido, el cual está compuesto por un conjunto de subsistemas dispersos geográficamente que necesita intercambiar información para llevar a cabo sus funciones, surge la necesidad de que diferentes sistemas se puedan interconectar entre sí. Para ello, se necesita que los diferentes sistemas, o, por lo menos, los interfaces de conexión, estén normalizados.

Para llevar a cabo dicha normalización son necesarias unas normas que hagan referencia a cada uno de los aspectos de la comunicación que resuelvan de forma común todos los problemas que puedan surgir como, por ejemplo, diferentes tipos de código, modulaciones, sincronización, control de flujo, etc.

En 1978 el Comité Técnico de Procesamiento de Información del Organismo de Estandarización Internacional ISO (*International Standardization Organization*), se reunió para abordar estos problemas y, ya en 1979, presentó el modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos OSI (*Open Systems Interconnection*). Este modelo fue reconocido por la UIT-T (Unión Internacional de las Telecomunicaciones), anterior CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía), que elaboró la recomendación X.200.

Se entiende por *Sistema Real Abierto* aquel que cumple los requisitos del modelo OSI en aquellos aspectos relacionados con la comunicación con otros sistemas.

La finalidad de OSI con todo este proceso fue definir un marco en el que se desarrollasen las normas necesarias para la interconexión de *Sistemas Reales Abiertos*.

Se dividió un sistema complejo en un conjunto de sistemas más simples (capas) con las siguientes premisas: independencia de actividades entre capas; ocultamiento de la implementación específica de cada capa; la utilización de servicios comunes compartidos por diferentes aplicaciones; y la secuencia de los sucesos en el tiempo, de capa a capa.

El proceso de elaboración del modelo se llevó a cabo en dos fases:

- En primer lugar, se establecieron los elementos básicos de los que constaba un sistema abierto y se establecieron criterios sobre su organización y funcionamiento.
- En segundo lugar, en el marco formado por el modelo, se definió de forma detallada el funcionamiento del sistema. Esto dio lugar a la definición de protocolos (reglas de comunicación), así como el hardware y el software que implementa dichos protocolos, y servicios (tareas realizadas por el sistema desde el punto de vista del usuario), de tal manera que cada capa dispusiera de sus propios protocolos y ofreciera unos determinados servicios de forma independiente.

De esta manera se perseguía describir el funcionamiento de la interconexión de sistemas de forma modular y posibilitar la realización de cambios de manera sencilla.

1.1.1. Modelo de Capas o Niveles

A continuación se presenta una breve introducción al modelo de referencia estructurado en capas o niveles. Una arquitectura de capas permite estudiar una parte bien definida en un sistema complejo más grande. Se permite así definir o modificar partes del sistema sin afectar al resto de las partes. Se puede cambiar fácilmente la implementación de una de las funcionalidades o servicios ofrecidos por una capa, siempre manteniendo los servicios que dicha capa proporciona a la capa superior y tomando los mismos servicios de la capa inferior, y todo ello sin que el resto del sistema se vea afectado por dicho cambio. Esto es una ventaja apreciable, sobre todo en sistemas complejos que necesitan de constantes actualizaciones en algunas de sus partes.

En la figura 1.1 se pueden apreciar los siete niveles o capas que define ISO, cada uno con un conjunto de funciones específicas.

Cada nivel N sólo interactúa directamente con el nivel inmediatamente superior ($N + 1$) y con el inmediatamente inferior ($N - 1$), excepto los niveles 7 y 1 que interactúan con el usuario y con el medio o soporte físico, respectivamente.

Cada capa contiene una agrupación de funciones lógicas que constituyen un servicio. Una función o un grupo de ellas conforman lo que se llama una entidad o elemento activo. Una *entidad* acepta unos datos de entrada (*argumentos*) y produce otros de salida (*valores*). En cualquier momento dentro de una capa puede haber más de una *entidad* en activo.

Un subsistema de la capa N (N entre 1 y 7) estará compuesto por uno o varios elementos activos o entidades N. Se define entidades equivalentes o entidades pares a aquellas entidades de diferente sistema que están en la misma capa o nivel.

Toda entidad de capa o nivel N utiliza los servicios proporcionados por entidades de la capa o nivel inmediatamente inferior (N-1) y ofrece sus servicios a entidades de nivel inmediatamente superior (N+1). Los puntos en que se proporciona el servicio se llaman Puntos de Acceso al Servicio (N+1 o N-1) o SAPs.

Nivel OSI	Función
Aplicación	Aplicaciones de Usuario
Presentación	Formatos y representación de los datos
Sesión	Establece, mantiene y cierra sesiones
Transporte	Entrega confiable/no confiable de “mensajes”
Red	Entrega los “paquetes” y los encamina
Enlace	Transfiere “tramas”, comprueba errores
Físico	Transmite datos binarios (bits) sobre un medio físico

Figura 1.1. Modelo de referencia de 7 niveles de OSI

En el modelo, el diálogo entre dos niveles adyacentes recibe el nombre de primitiva. Existen cuatro tipos de primitivas, que son las siguientes:

- Primitivas de Solicitud o Petición (*Request*): son utilizadas para solicitar procedimientos. Las inicia la capa N+1 para solicitar o activar un *servicio* nominado a la capa N.
- Primitivas de Indicación (*Indication*): son utilizadas para indicar al usuario que su entidad equivalente ha hecho una petición de servicio. Las emite la capa N para *solicitar* la activación de un *servicio* de la capa N+1.
- Primitivas de Respuesta (*Response*): son utilizadas para responder a una indicación. Es emitida por la capa N+1 en contestación a la primitiva de Indicación.
- Primitivas de Confirmación (*Confirm*): son utilizadas para averiguar si se ha llevado a cabo un servicio solicitado. Para finalizar los procesos de *Soli-*

cidad o Petición de servicio, la capa N entrega a quién inició la Solicitud la debida *confirmación* de que el servicio ha sido completado o establecido.

La transferencia de información en el nodo emisor se realiza desde el nivel 7 al nivel 1, mientras que en el receptor se realiza en orden inverso, desde el nivel 1 inferior al nivel 7 superior.

Según el modelo de capas, un protocolo de una capa está distribuido entre las entidades de red (incluidos los sistemas finales y los nodos intermedios de interconexión) que lo implementan y ejecutan. Consistirá en un conjunto de reglas y formatos (sintácticos y semánticos) que determinan el comportamiento de comunicación de las entidades iguales (pares o *peers*) de capa N en la realización de funciones de dicha capa en los diferentes dispositivos o equipos involucrados en la comunicación de capa N. Por tanto, las entidades de capa N en cada uno de estos dispositivos consisten en procesos software encargados de ejecutar una instancia del protocolo de capa N. Dichas entidades distribuidas se comunican entre sí mediante un intercambio de mensajes definidos por el protocolo de capa N. A estos mensajes se les denomina N-PDUs o Unidades de Datos de Protocolo (PDU) de capa N, las cuales contienen datos e información de control (cabecera) del protocolo de capa N.

Cuando se consideran todos los protocolos de las distintas capas del modelo, se habla de *Pila de Protocolos*.

Cada nivel N, en emisión, añade a los datos entregados por el nivel superior (N+1) información de control propia (correspondiente al protocolo de ese nivel N) y se lo entrega al nivel inferior (N-1). Este proceso se puede apreciar en las figuras 1.2 y 1.3.

Es posible que un nivel N genere nuevos paquetes de control (protocolo de nivel N) que no contengan información significativa para los niveles superiores (N + i, i > 0), pero que sí sean de utilidad para el nivel N equivalente, bien en el nodo receptor o bien en los nodos intermedios que implementen dicho nivel.

Para el nivel inferior (N-1), todos los mensajes o estructuras de datos entregados por el nivel superior N son tratados como información útil, siendo transparente para dicho nivel que estos paquetes contengan información real (N-PDUs de datos) del nivel superior N o información de control (N-PDU de control). Dichos mensajes será encapsulados en el campo de datos de la PDU del nivel N-1 (figura 1.3), añadiéndole la correspondiente información de control del protocolo de capa N-1 (cabecera de capa N-1, H_{N-1}) y serán enviados al nivel inferior.

Cada nivel N en recepción recibe del nivel inferior (N-1) toda la estructura de información generada en emisión por el nivel N equivalente, elimina la información

de control (cabecera del protocolo de nivel N, H_N) y entrega el resto al nivel superior ($N+1$). El proceso se muestra en la Figura 1.3.

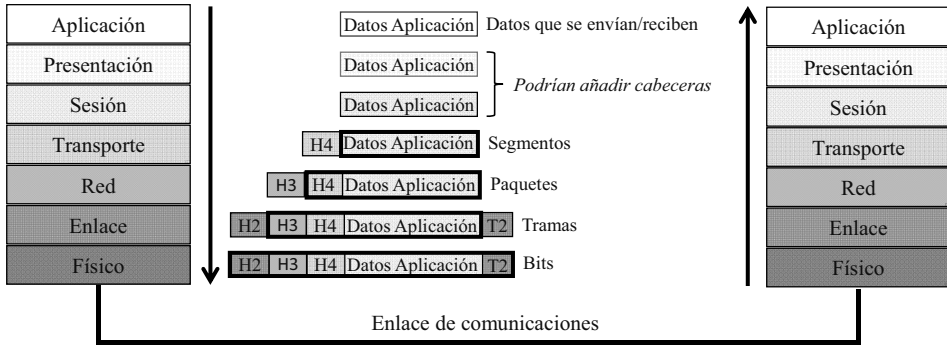


Figura 1.2. Encapsulamiento nivel a nivel en el modelo OSI

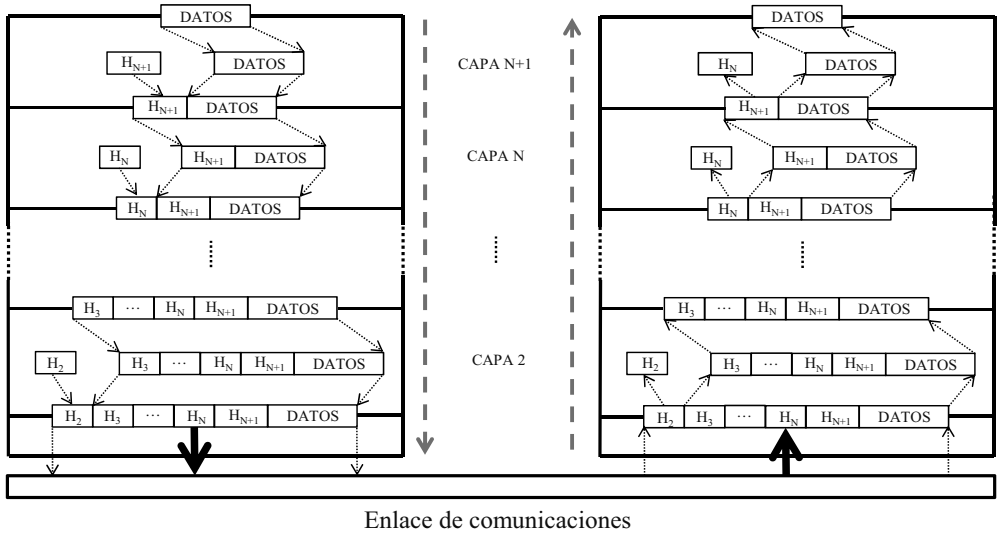


Figura 1.3. Encapsulamiento/Desencapsulamiento nivel a nivel en el modelo OSI

Un ejemplo típico de servicio por capas es el servicio de correo postal tradicional. Un usuario que escribe una carta a un amigo, primero escribe el texto en una hoja (datos del nivel de usuario) que coloca dentro de un sobre en el que escribe la dirección postal del destino (de la casa de su amigo), además de la dirección del remitente (de su propia casa). El sobre conteniendo la carta sería la PDU equivalente del nivel de usuario. El usuario depositará la carta en un buzón de correos y se desentenderá, a partir de ese momento, de la misma, confiando en que el servicio de correos realice sus funciones y la carta llegue a su destino en un plazo de tiempo adecuado. Asimismo, en el servicio de correos también existirán funcionalidades que permitan el envío y recepción correctos de la carta del usuario, siguiendo la misma filosofía explicada.

Los nodos de conmutación encargados de encaminar y transmitir la información a través de una red de comunicaciones sólo necesitan incorporar los dos o tres primeros niveles (figura 1.4), por lo que los niveles 1, 2 y 3 no son extremo a extremo, realizándose el diálogo entre niveles equivalentes (protocolo de nivel N , $N < 4$) entre el emisor y el primer nodo de la red, el receptor y el último nodo de la red, y entre los distintos nodos de red que se comuniquen. El primer nivel que dialoga extremo a extremo con su nivel equivalente es el nivel 4.

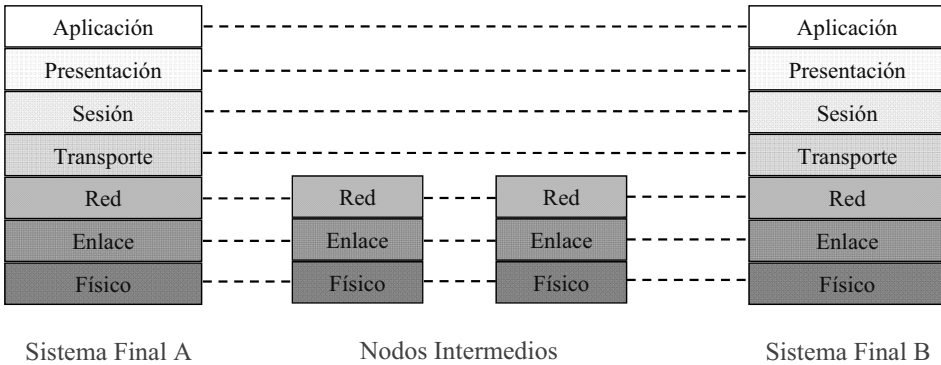


Figura 1.4. Modelo de capas de interconexión

Direccionamiento

Los puntos de acceso al servicio (SAP o *Service Access Point*) tienen un identificador permanente llamado dirección, esto significa que cuando una entidad N se conecta con una entidad equivalente, la dirección del SAP $N-1$ a través del cual se ha

conectado pasa a identificar a dicha entidad, es decir, que mientras dure la conexión será la dirección de esa entidad.

Una función de encaminamiento será aquella que proporciona a una entidad N, dado el identificador de una entidad equivalente, la dirección de un SAP N-1 a través del cual existe una ruta que permite la conexión con dicha entidad par.

Entre las funciones que pueden realizar las distintas capas del modelo, destacan las de control de errores en las comunicaciones de entidades del mismo nivel, las de control de flujo entre entidades equivalentes emisoras y receptoras del mismo nivel, las de segmentación y reensamblado (en el caso de que el nivel N-1 no soporte el tamaño de la estructura de datos que le pasa el nivel N superior, la información deberá ser troceada para adecuarla al tamaño permitido, y, en el extremo contrario los trozos deberán ser correctamente reensamblados para pasarle al nivel N destino la PDU reconstruida), las de multiplexado (para permitir varias sesiones simultáneas de nivel superior sobre una única conexión del nivel inferior) y las de establecimiento y liberación de las conexiones, en caso de que se ofrezcan servicios orientados a conexión (que se explican más adelante).

Descripción del modelo

A continuación se presentan las funciones asociadas a cada uno de los siete niveles del modelo OSI.

a. Nivel Físico

Es el nivel que garantiza el transporte de información (en bits) a través del medio físico de transmisión entre dos nodos conectados directamente. Para ello se definen estándares para especificar los correspondientes interfaces mecánicos, eléctricos y de señalización, incluyendo directrices para la elección del medio de transmisión, así como del cableado (si existe, como, por ejemplo, el cable de par trenzado, el cable coaxial o el de fibra óptica).

La PDU de este nivel es el *bit*.

También es el responsable de la codificación/decodificación de los datos en señales eléctricas y de establecer los niveles eléctricos de las señales utilizadas, velocidad de transmisión, tamaño y forma de los conectores empleados, funciones y procedimientos para establecer y desactivar conexiones físicas, etc.

Como ejemplo, se podrían destacar los definidos en las normas RS-232 (V-24/28), RS-422, RS-449, X.21/X.21 bis; IEEE 488, V.35/36; RJ.11/45, etc.

b. Nivel de Enlace de Datos

Proporciona las funciones necesarias para establecer, mantener y liberar conexiones fiables de enlace de datos entre nodos de la red con enlace de conexión directo, garantizando el control de flujo y la transmisión sin errores de los bloques de información (tramas).

Para ello utiliza bits de redundancia y de control que le van a permitir detectar y corregir los errores introducidos por la falta de fiabilidad de los circuitos de datos.

La PDU de este nivel es la *Trama*.

También define cómo se produce la transmisión en cuanto a tamaño, estructura, contenido y secuencia de las tramas.

Como ejemplo se pueden destacar los protocolos de enlace de datos siguientes: ISO 7776 LAP-B, LAP-D, LAP-F, HDLC, PPP, IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.5 (Token Ring), ISO 9314 (FDDI), XMODEM, etc.

c. Nivel de Red

Es la capa responsable de las funciones de conmutación y encaminamiento (selección del camino físico de los bloques de datos, paquetes, a través de los posibles nodos intermedios de la red desde un extremo de la comunicación al otro), así como del control de la congestión.

La PDU de este nivel es el *Paquete*.

Se encarga de establecer, mantener y liberar conexiones de red (si existen), proporcionando los procedimientos precisos para el intercambio de datos (paquetes) entre origen y destino. Intentará evitar la pérdida de paquetes ante la saturación o fallo de determinadas rutas.

Ejemplo: X.25 PLP, X.75, OSI CNLP, capa de red ATM e IP (aunque éste último no sigue estrictamente el modelo).

Para seguir leyendo haga click aquí