

Introducción a la Teleinformática.

Índice

- Definición de Teleinformática.
- Nomenclatura
- Arquitecturas de comunicaciones: Modelos estructurados.
- Estándares.

- **Definición de Teleinformática.**

Entendemos como teleinformática como el conjunto de elementos y técnicas que permiten la transmisión automática de datos.

Al hablar de transmisión se asume que existe una distancia apreciable entre origen y destino de la comunicación. Este es, asimismo. El sentido del prefijo tele-. Además, es automática puesto que no se requiere intervención humana para llevar a cabo la comunicación. En cuanto a los datos, entendemos como tales a las entidades susceptibles de ser tratadas por un computador.

En un principio, los computadores eran caros y escasos. Los organismos que disponían de un computador lo dedicaban a la ejecución de programas locales. Un usuario utilizaba los dispositivos de entrada (tarjetas perforadas, teclado, unidades de disco, etc.) para cargar el programa y los datos en el computador y, tras la ejecución, recogía los resultados mediante los dispositivos de salida (tarjetas perforadas, impresora, terminal, etc.). No obstante, pronto se hizo necesaria la compartición de datos y recursos entre computadores, así como el acceso a datos remotos. A partir de esta necesidad fueron surgiendo mecanismos cada vez más evolucionados, comenzando por las primeras conexiones punto a punto entre computadores mediante líneas dedicadas. Los grandes fabricantes comienzan a investigar en este aspecto, dando como resultado la aparición de las redes locales, que permiten la interconexión de varios computadores entre sí.

El inconveniente principal de las redes de computadores propietarias consiste en su dependencia de la tecnología. Así, cada fabricante recurre a unas soluciones hardware distinto a la hora de implementar su red, haciendo casi imposible la conexión a la red de computadores de otros fabricantes. Es por ello que, tras varios años de lucha entre fabricantes, se llegue a la conclusión de que el problema debe solucionarse a más alto nivel. En ese momento surge la problemática de la interconexión de redes.

Este modelo de funcionamiento consiste en que redes diferentes utilicen a alto nivel protocolos comunes, que permitan ignorar en el ámbito de usuario las diferentes implementaciones a bajo nivel.

Para ello resulta imprescindible establecer de forma estándar los protocolos de comunicaciones utilizados para la interconexión de redes. Varios organismos han propuesto estos estándares, tal y como veremos más adelante. Gracias a ellos se da el siguiente paso, llegando a la interconexión de redes, o Internet.

- **Nomenclaturas**

La teleinformática, como otros campos dentro de la informática, no se ha desarrollado como una disciplina teórica, sino que ha ido evolucionando gracias, en gran medida, a implementaciones realizadas por laboratorios de investigación, universidades y la empresa privada. Además, la aproximación al problema ha

sido enfocada de forma distinta por distintos organismos, por lo que los conceptos utilizados son distintos. Por todo ello, no existe una terminología única que permita denominar de forma inequívoca a los componentes de estos sistemas. En el campo de las nomenclaturas vamos a trabajar con dos de las más empleadas:

Nomenclatura ARPA

A comienzos de los 60 en Estados Unidos se puso en marcha el proyecto ARPANET, patrocinado por ARPA (Advanced Research Project Agency), dependiente del Departamento de Defensa. Este proyecto militar perseguía la creación de una red de interconexión entre centros militares y universidades. Con el tiempo, esta red se convirtió en Internet.

El modelo ARPA especifica la existencia de computadores terminales (Hosts) dispuestos para ejecutar tareas de usuario, y que son los usuarios de la comunicación. Para interconectar estos computadores se utiliza una sub-red de comunicaciones, que une a los Hosts entre sí. Esta sub-red se encuentra formada por dos tipos de elementos: Las líneas y los procesadores de comunicaciones.

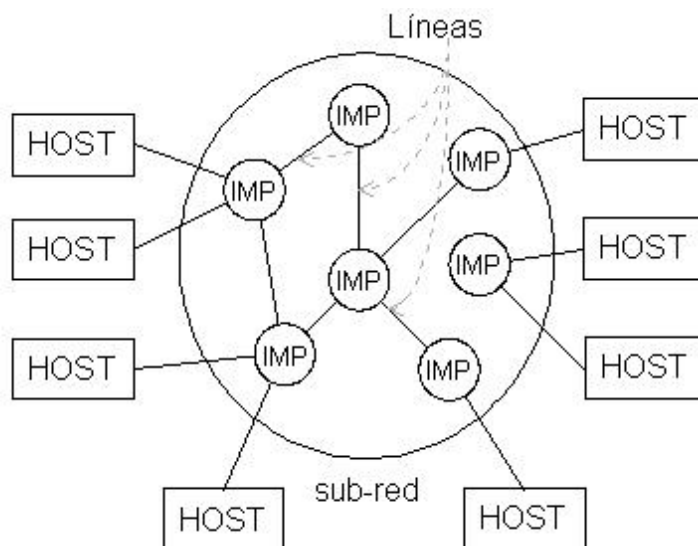


Fig.1 : Estructura según ARPA.

Hosts

Con este término se denomina en la nomenclatura de ARPA a los computadores terminales de usuario, es decir, aquellos que ejecutan programas de propósito general y que en realidad son los usuarios de la red de comunicaciones.

Es necesario destacar que para ARPA son igualmente partes del Host los posibles elementos de comunicaciones integrados en el sistema, como pueden ser tarjetas de red o dispositivos MÓDEM, e incluso los denominados procesadores frontales de comunicaciones (front-end processors) cuya única misión consiste en descargar de las tareas de comunicaciones al resto del sistema. Esta distinción no se mantendrá en posteriores nomenclaturas.

Procesadores de comunicaciones:

Los procesadores de comunicaciones, también conocidos como nodos, computadores de comunicaciones e I.M.P's (Interface Message Processors), son los encargados de que la información transmitida por los Host llegue a su destino. Para ello realizan tareas de encaminamiento de la información a través de la sub-red. Cada IMP se encuentra permanentemente preparado para la recepción por cualquiera de sus líneas. Cuando

llega una unidad de información por alguna de sus entradas, evalúa en función de la dirección destino de la misma y el conocimiento del IMP sobre la red cuál debe ser la línea de salida. A cada uno de estos procesos de recepción, evaluación y transmisión se le denomina salto ó hop. Eventualmente, y tras un número finito de hops, la información será entregada por el IMP correspondiente al host destino.

Líneas de comunicaciones

Las líneas de comunicaciones interconectan entre sí a los procesadores de comunicaciones y a éstos con los Hosts. Pueden ser de dos tipos: líneas punto a punto o multipunto.

Las líneas punto a punto unen entre sí dos extremos fijos. Habitualmente existirá un emisor y un receptor. Son, por tanto, eminentemente unidireccionales, aunque con una gestión adecuada es posible utilizarlas en ambos sentidos no simultáneamente.

Cuando en una línea de comunicaciones existe un emisor y un receptor fijos, es decir, la información viaja en un sólo sentido, se dice que la línea es simple (simplex). Por contra, cuando el papel de emisor puede ser adoptado por ambos equipos, pero no simultáneamente se dice que la línea es semiduplex (half-duplex). Para permitir la comunicación bidireccional simultánea entre dos equipos serían necesarias dos comunicaciones simples. Este tipo de líneas se denomina duplex (full-duplex).

Uno de los aspectos más importantes de las redes con líneas punto a punto es la topología, es decir, cómo se interconectan entre sí todos los nodos. De la topología dependerán en gran medida las prestaciones de la red, su coste, su facilidad de ampliación, sus posibilidades de congestión, etc. Veremos a continuación las topologías más comunes.

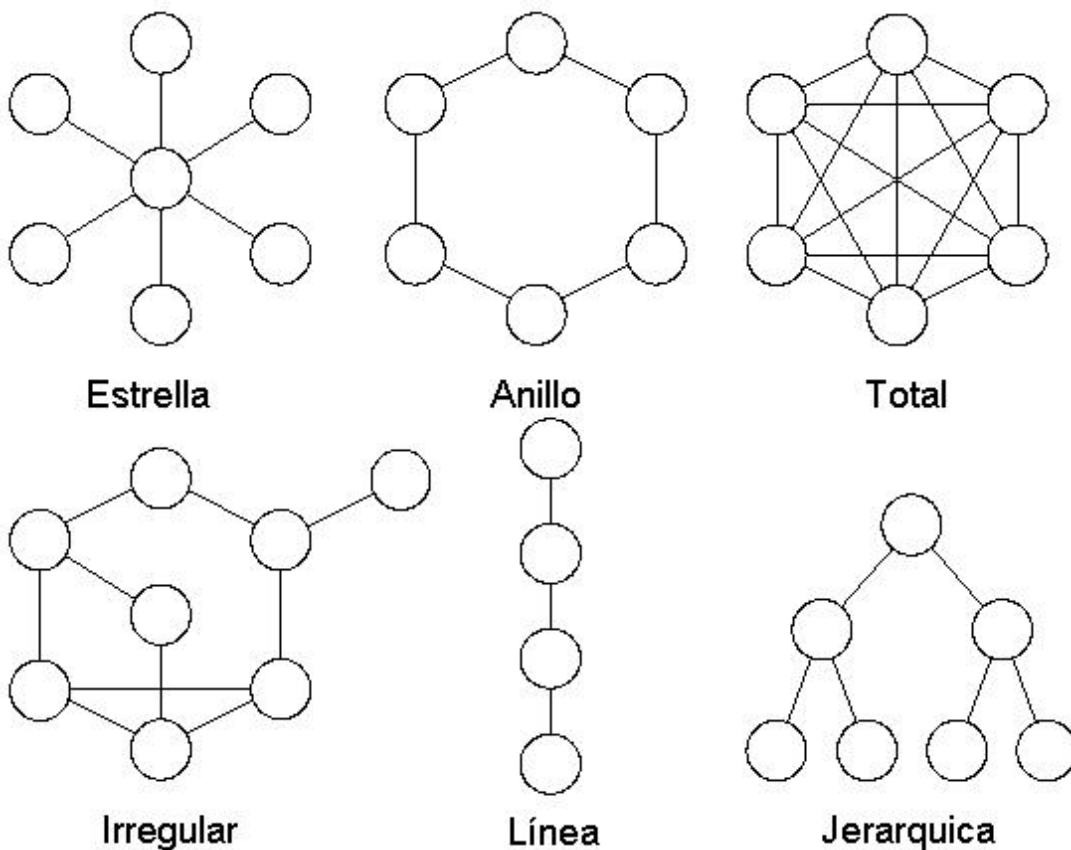


Fig.2 : topologías más comunes.

Topología en estrella: En ella todos los nodos se comunican a través de un nodo central. Resulta muy sencilla de ampliar, siempre que el nodo central permita la incorporación de nuevas líneas. Es barata puesto que exige una única línea por nodo. Además, la máxima distancia es de dos hops. Sin embargo, presenta problemas de congestión en el nodo central, además de una tolerancia a errores mínima, ya que en caso de caída del nodo central la red cae completamente. Sin embargo, la caída de cualquier otro nodo no afecta al funcionamiento del resto de la red.

Topología en anillo: Como ventajas de esta topología pueden citar su facilidad de ampliación y que requiere pocas líneas por nodo (sólo dos). Sin embargo, la comunicación entre dos nodos puede costar un número elevado de hops. Presenta una relativa tolerancia a errores, ya que en caso de caída de una línea o nodo la red sigue funcionando puesto que existe otra ruta alternativa.

Topología en interconexión total: Es sin duda la más rápida, ya que siempre se alcanza el destino en un único hop. Sin embargo, resulta extremadamente cara y difícil de ampliar por el elevado número de enlaces, lo que la hace técnicamente inviable a partir de un número elevado de nodos. Su tolerancia a fallos es muy buena, ya que siempre existen numerosos caminos alternativos entre dos nodos.

Topología jerárquica: Es una buena alternativa a la topología en estrella para reducir la congestión. Presenta una velocidad bastante aceptable si se consigue que los nodos que más se comunican se encuentren en la misma rama, cuanto más próximos mejor. Es muy fácil de ampliar, pues solo requiere una línea conectada al nodo padre correspondiente. Sin embargo, su tolerancia a fallos es discutible ya que en caso de rotura quedan en funcionamiento dos sub-redes independientes. Aún así, puede presentar problemas de congestión en los nodos más elevados del árbol.

Topología en línea: Barata y fácil de implementar, además de ser ampliable con poco coste, el mayor inconveniente de esta topología es su baja velocidad (el número de hops puede ser muy grande). En cuanto a su tolerancia a fallos, nos encontramos con el mismo caso de las topologías jerárquicas, puesto que aparecen dos sub-redes independientes.

Topologías irregulares: A pesar ser las más difíciles de gestionar y analizar, son las más frecuentes. Sus características en cuanto a velocidad y fiabilidad suelen depender del número de enlaces, mientras que su ampliación resulta sencilla.

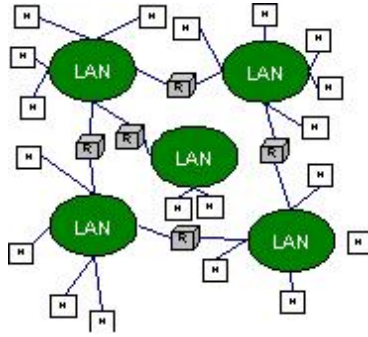
Las líneas multipunto comunican varios nodos, siendo posible que cualquiera de ellos utilice la línea tanto como emisor como receptor. Esto permite reducir el número de líneas de comunicaciones, y permitir que todos los nodos se encuentren a una distancia de un único hop. Sin embargo, resulta imposible que una única línea sea utilizada simultáneamente por más de un nodo, por lo que es necesario establecer algunas reglas. El mecanismo de acceso al medio, es decir, qué acciones debe seguir un nodo para utilizar una línea multipunto, será el factor determinante de la velocidad de la red. La fiabilidad del sistema, por contra, será muy elevada con respecto a fallos en los nodos pero nula en cuanto a fallos en la línea común. Resultan muy sencillas de ampliar y mucho más baratas que las topologías con líneas punto a punto.

Evolución de ARPA.

La red ARPA ha evolucionado para dar lugar a lo que actualmente se conoce como INTERNET. Las líneas de comunicaciones se han convertido en redes locales, que no son más que líneas multipunto en la mayoría de las ocasiones. Por lo tanto, el papel del nodo ha pasado desde el encaminamiento de información a la interconexión de redes locales, con todo lo que ello conlleva.

Estos elementos entre redes pueden ser de diferentes tipos, desde los repetidores que únicamente amplifican la señal eléctrica hasta las complejas pasarelas que realizan un filtrado selectivo de la información que retransmiten. Veremos con más detalle estos aspectos en posteriores temas.

En la figura podemos ver como las líneas han pasado a ser redes locales completas (LAN), mientras que los nodos únicamente interconectan estas redes (R).



Nomenclatura ITU

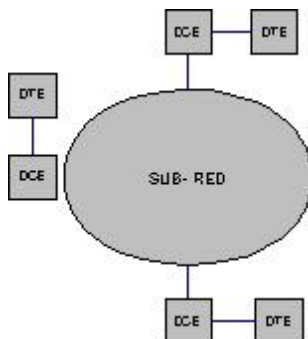
ITU (International Telecommunications Union) es un organismo internacional que agrupa a las compañías de telecomunicaciones, tales como Telefónica, British Telecom, ATT, etc. Esta organización procede de la antigua CCITT (Comité Consultivo Internacional de Teléfonos y Telégrafos), con las mismas funciones y múltiples estándares, tal y como comentaremos más adelante.

Sus trabajos, respaldados por la ONU, establecieron una nomenclatura según la cual se distinguen los siguientes elementos:

Sub-red: Se trata de un elemento gestionado por los denominados proveedores del servicio, es decir, las compañías telefónicas. Por ello, no se describen los elementos que forman parte de ella.

Equipos terminales de Datos (ETD's): Son los elementos que desean comunicarse, típicamente computadores que ejecutan procesos de usuario, aunque existen otras opciones (terminales tonitos, equipos de videotexto, etc.). También se denominan DTE (Data Terminal Equipment) Equipos terminales del circuito de Datos (ETCD) ó DCE (Data Circuit Terminal Equipment). Son los elementos que permiten la interconexión entre el DTE y la sub-red. Un ejemplo de esto son los MÓDEM telefónicos.

Como puede verse en la figura siguiente, esta nomenclatura divide en lo que anteriormente denominamos host en dos elementos: el equipo terminal de datos que realiza las funciones de usuario y un equipo para conectar el DTE a la sub-red. Por ello, detalla mejor las diferencias entre el proceso de usuario (DTE) y los mecanismos que permiten a este usuario el acceso a los servicios proporcionados por la sub-red.



Arquitecturas de comunicaciones

El análisis, diseño e implementación de un sistema de comunicaciones no es tarea fácil. Existen multitud de problemas a resolver y resultan en su mayor parte complejos. Es por ello que se presta una especial atención a

la metodología que nos permite abordar estos sistemas teleinformáticos.

Una de las aproximaciones al problema consiste en considerar la tarea como un todo, es decir, estudiar simultáneamente el conjunto de aspectos a solventar e implementar un único código que realice todas las funciones necesarias. Esta aproximación es la denominada arquitectura monolítica.

Mediante esta metodología, por ejemplo, para implementar una aplicación de correo electrónico a través de una red local sería necesario desarrollar código relacionado con el control de la tarjeta de red, el control de errores, el direccionamiento de la información para que llegue a la máquina destino, los protocolos propios de la red local. El protocolo de correo electrónico, el interfaz de usuario... todo ello en un único programa, con lo que el volumen de código sería enorme.

Implementar sistemas teleinformáticos con esta metodología suele conducir a aplicaciones extremadamente difíciles de mantener y modificar. Además, resulta muy complicada la reutilización del código de una aplicación para escribir otra, puesto que es necesario rehacer la aplicación si cambia cualquiera de los elementos anteriormente citados. Asimismo, resulta casi imposible establecer estándares de comunicaciones entre aplicaciones monolíticas de distintos fabricantes. Como ventaja, resultan altamente eficientes puesto que pueden optimizarse mucho más que otras arquitecturas.

Como alternativa a esta metodología, se propuso y ha sido aceptada por la mayoría de las compañías la arquitectura estructurada. Mediante esta, se divide el problema de la transmisión de datos en una serie de niveles independientes de tal modo que es posible resolverlos por separado. Al ser independientes, una vez establecido un mecanismo estándar de intercomunicación entre niveles es posible modificar una parte del sistema teleinformático (que normalmente afectará únicamente a un nivel) sin tener que rescribir toda la aplicación.

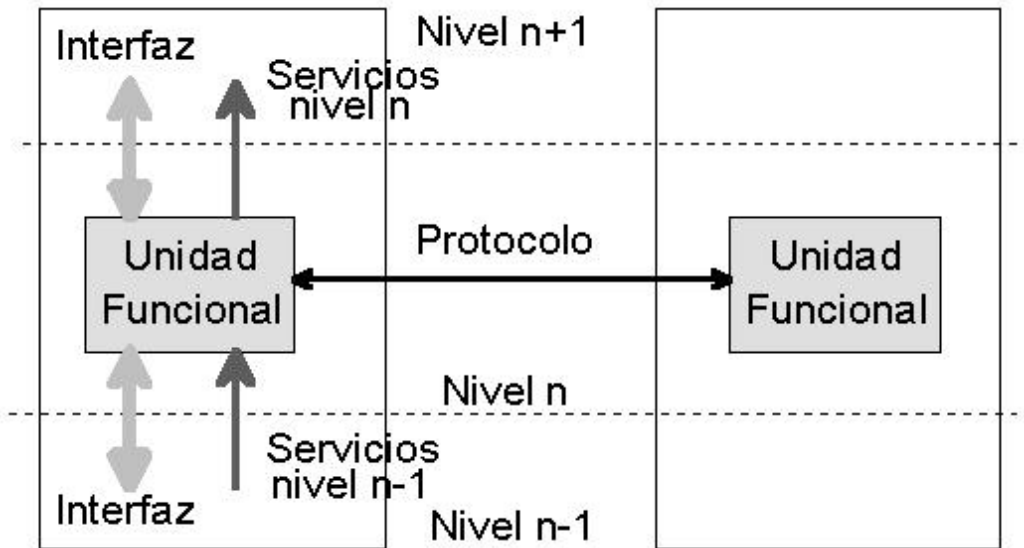
Existen multitud de arquitecturas estructuradas, siendo algunas de ellas estándares internacionales y otras propuestas por diferentes organismos o incluso fabricantes. A continuación estudiaremos algunas de ellas.

Modelo ISO / OSI.

EL modelo OSI (Open System Intercommunication) propuesto por ISO (International Standardization Organization) divide los sistemas teleinformáticos en siete niveles, que describiremos más adelante.

La interacción entre niveles se basa en interfaces estándar, estableciendo una jerarquía de servicios. Es decir, un nivel realiza unas funciones concretas, resolviendo problemas determinados de la comunicación. El nivel superior intentará realizar funciones más complejas utilizando las proporcionadas por su nivel inferior, con lo que ofrecerá a su vez un mejor servicio del que obtiene de sus inferiores. Por ejemplo: El nivel de transporte debe proporcionar a sus niveles superiores una comunicación fiable entre los extremos de la sub-red (entre hosts). Para ello utiliza los servicios del nivel de red, que proporcionan el servicio de enviar la información a través de dicha sub-red, pero no puede garantizar que el resultado sea correcto. Será pues misión del nivel de Transporte (entre otras) supervisar al nivel de red para, en caso de error en las funciones del mismo, tomar las medidas para corregirlo.

Gráficamente, podemos expresar esta dependencia entre niveles de la siguiente forma:

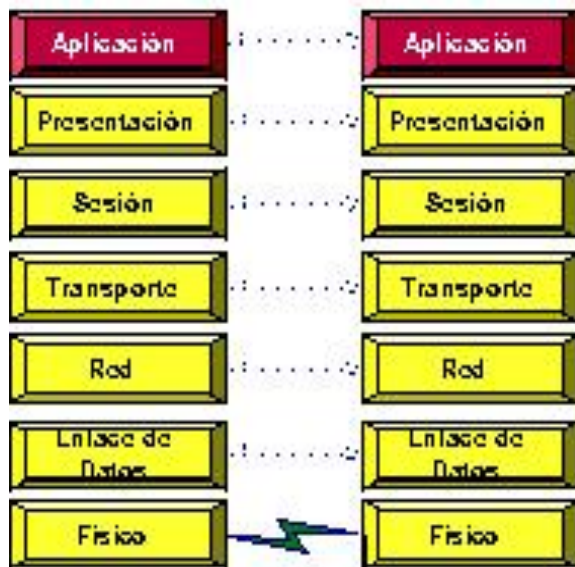


Dentro de cada nivel encontraremos una o varias unidades funcionales. La unidad funcional es el elemento que implementa el nivel, siendo posible la existencia de varias instancias (por ejemplo, cuando un computador está conectado a varias redes). Las unidades funcionales del mismo nivel siempre son equivalentes, es decir, realizan funciones similares. Para cumplir las funciones asignadas al nivel, la unidad funcional de nivel n requiere servicios de su nivel inferior, el nivel $n-1$. Empleando estos servicios la unidad funcional ofrece unos servicios más complejos (servicios de nivel n) al nivel $n+1$.

La comunicación entre diferentes niveles se realiza a través de un interfaz estándar. Dicho interfaz, que se encuentra definido para cada uno de los niveles, permite la sustitución de una unidad funcional de nivel n por cualquier implementación de otra unidad funcional del mismo nivel.

Sin embargo, para cumplir su misión una unidad funcional debe comunicarse con otros computadores. Siempre lo hará con unidades funcionales de su mismo nivel en la máquina destino, siendo imprescindible que ambas unidades estén de acuerdo en múltiples aspectos (formato de la información, control de errores, campos cabeceras, etc.) que son los que forman un protocolo.

Cabe destacar que, a pesar de que parece que la comunicación se realiza directamente entre unidades funcionales, solo es posible la transmisión de información a través del nivel más bajo (el nivel físico), por lo que será necesario utilizar servicios de niveles inferiores.



Los niveles del modelo OSI de ISO son los siguientes:

Nivel Físico: Es el nivel más bajo del modelo. Incluye los aspectos de interconexión física (líneas de transmisión), así como la circuitería y programas necesarios para la transferencia de información. Puesto que es posible la aparición de errores de comunicación, no resulta fiable. Puede trabajar con bits, caracteres o bytes.

Nivel de Enlace de Datos: Asegura una comunicación fiable entre dos máquinas directamente conectadas, lo cual incluye la supervisión de los errores de transmisión en la línea, el control de flujo entre emisor y receptor y el acceso al medio físico. Utiliza como unidad de intercambio la trama de datos (frame).

Nivel de Red: Es el encargado de encaminar la información a través de la sub-red. Para ello debe realizar varias funciones, además del propio encaminamiento, como es el control de la congestión y la adaptación a las condiciones de carga de la sub-red. Trabaja con paquetes de datos (packet).

Nivel de Transporte: Es el encargado de garantizar la transferencia de información a través de la sub-red. Es, por tanto, un nivel que únicamente aparece en los hosts. Esto implica las funciones de control y numeración de unidades de información, la segmentación y reensamblaje de mensajes y la multiplexación. La unidad recibe el nombre de TPDU (Transport Protocol Data Unit).

Nivel de Sesión: Asegura la reanudación de una conexión interrumpida por avería o des conexión de alguno de los hosts a partir de un punto seguro, evitando así posibles problemas en sistemas transaccionales (p.e. transacciones bancarias). Para ello debe implementar los mecanismos de recuperación necesarios, siendo frecuente la técnica de Checkpointing. Los niveles de sesión intercambian los denominados SPDU (Session Protocol Data Unit).

Nivel de Presentación: Permite el intercambio de información entre computadores con distinta representación de los datos. Debe convertir los datos desde los formatos locales hasta los estándares de red y viceversa. Asimismo, a este nivel se le encomiendan las funciones de compresión y encriptación de la información. A este nivel se trabaja con las denominadas PPDU (Presentation Protocol Data Unit).

Nivel de Aplicación: Proporciona soporte a las aplicaciones de usuario, interactuando con el mismo. Para ello existen los denominados módulos comunes (a varias aplicaciones) y módulos de usuario. Las unidades dependen de la aplicación, aunque genéricamente se denominan APDU (Application Protocol Data Unit). Ejemplos de normas pueden ser X.400, SMTP, FTP, FTAM, TELNET, etc.

El modelo OSI no es más que un esqueleto de cómo se deberían implementar los sistemas teleinformáticos. De hecho, ni siquiera propone estándares para cada uno de los niveles, sino que es posteriormente OSI o los propios fabricantes quienes lo hacen. Al ser un modelo "a priori", realizado de forma teórica sin implementación, resulta excesivamente rígido en algunos aspectos. Además, en la mayoría de los sistemas teleinformáticos encontramos que las funciones entre niveles están mal repartidas. Por ejemplo, la problemática asociada a los niveles de enlace de datos y transporte requiere que estos se subdividan en otros subniveles, mientras que los niveles de sesión y presentación se encuentran prácticamente vacíos de contenido.

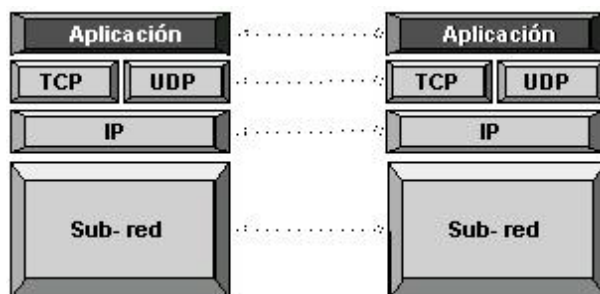
Modelo TCP/IP.

El modelo TCP/IP es el resultado de la evolución del primitivo proyecto ARPA, que da nombre a una de las nomenclaturas más utilizadas. Como ya hemos dicho, el propósito de este proyecto era la interconexión de diferentes redes locales para la compartición de información entre distintos centros. Puesto que las redes locales no tienen por qué disponer de la misma tecnología, este modelo no habla sobre los niveles inferiores del modelo (lo que en el modelo OSI denominábamos niveles físico, de enlace de datos y red), sino que sobre ellos construye una estructura pensada para dar soporte a las aplicaciones.

Para que sea posible la interconexión de computadores entre redes distintas es imprescindible establecer un sistema de direccionamiento de computadores de forma que una información transmitida pueda ser entregada a una máquina concreta. Ello se consigue en el ámbito de red mediante las denominadas direcciones IP, de las que hablaremos en temas sucesivos.

Asimismo, y para garantizar la flexibilidad en las aplicaciones, se contempla la posibilidad de disponer de diferentes tipos de transportes. Así, como ya veremos, es posible optar por un transporte totalmente fiable, aunque complejo, o bien otro más sencillo que no garantiza la llegada de los datos.

El modelo TCP/IP dispone de los siguientes niveles:



Sub-red: Con este nombre denominamos a la tecnología propia de las diferentes implementaciones de red local que forman parte del conjunto. Cubre las funciones correspondientes a los niveles físico, de enlace de datos y posiblemente parte del de red.

IP (Internet Protocol): Su misión consiste en el encaminamiento de la información a través de la red. Para ello se establecen mecanismos de direccionamiento (direcciones IP) independientes de la tecnología, proporcionando direcciones tanto de host como de red local. Sería similar al nivel de red en el modelo OSI. Utiliza protocolos auxiliares tales como ICMP, ARP y RARP.

TCP / UDP : Son equivalentes al nivel de transporte del modelo OSI, pues realizan el transporte de datos entre hosts.

TCP (Transport Control Protocol) proporciona a las aplicaciones la posibilidad de establecer conexiones estables entre dos máquinas en modo stream, es decir, sobre las cuales no es necesario construir bloques de

datos sino que pueden emplearse para transmitir un flujo continuo de información. Es un protocolo orientado a conexión, por lo que es necesario establecer la misma antes de poder transmitir, y una vez finalizada la operación se debe realizar una desconexión.

UDP (Unreliable Datagram Protocol) ofrece un servicio no fiable de entrega de bloques de datos (datagramas).

Ambos protocolos tienen ventajas e inconvenientes. UDP es mucho más fácil de implementar que TCP, y resulta más rápido. Sin embargo, el control de errores se deja en manos de la aplicación.

Nivel de aplicación: Contiene las aplicaciones de usuario, tales como FTP (File Transfer Protocol), TELNET (Terminal virtual), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), News, WWW (World Wide Web), etc.

Estándares

En el mundo de la teleinformática resulta muy frecuente la interconexión de máquinas de distintos fabricantes. Para ello es necesario que todos los computadores involucrados en la comunicación sean capaces de transmitir e interpretar la información utilizando los mismos protocolos. Para conseguir esto aparecen los estándares de comunicaciones.

Podemos definir un estándar como una normativa comúnmente aceptada por fabricantes y usuarios. Así, podremos distinguir dos tipos de estándares:

Estándares que han sido promovidos por algún organismo, tanto nacional como internacional.

Estándares que proceden de fabricantes y que, sin ser obra de ningún organismo, se imponen por motivos técnicos o de marketing.

Los primeros son los conocidos como estándares de jure, mientras que los segundos son los estándares de facto.

Los organismos emisores de estándares de jure son los siguientes:

ITU (International Telecommunication Union): Es el organismo que agrupa a las compañías proveedoras de servicios telefónicos de multitud de países, entre ellas Telefónica. Procede del antiguo CCITT (Comité Consultivo Internacional de Teléfonos y Telégrafos). Sus normas son sobre todo relativas a DCE's y su conexión con los DTE's. Se denominan mediante una letra y un número. (p.e. X.25, X.500, V.22, V32, etc.)

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): A pesar de no ser un organismo internacional,

ISO (International Standards Organization): La organización internacional de estandarización agrupa a los organismos nacionales de casi todos los países, entre los que destacan ANSI (American National Standards Institute), DIN (Alemania), AFNOR (Francia) , BSI (Gran Bretaña), etc.

IAB (Internet Architecture Board): Este organismo supervisa las normas empleadas en Internet. Consta básicamente de dos organismos: IRTF (Internet Research Task Force) e IETF (Internet Engineering Task Force), encargadas respectivamente de la investigación y el desarrollo de estándares en Internet. El mecanismo para la creación de las normas pasa por los RFC's (Request For Comments), un documento público al cual todo usuario de Internet puede hacer críticas. Tras varias fases, este documento pasará al estado STD, siendo considerado desde entonces un estándar establecido.

Los estándares de facto suelen ser propuestas por un fabricante y adoptadas por otros para sus productos.

Responden a la falta de normativa en bastantes de los aspectos de la informática en los primeros tiempos. Ejemplos de estándares de este tipo son el lenguaje de comandos Hayes o el interfaz Centronics para impresoras. Estos estándares suelen acabar convertidos en estándares de jure cuando algún organismo de los anteriormente citados los adopta.

- Bibliografía

- "Redes de computadores"
Andrew S.Tanembaum
Ed. Prentice–Hall, 3ª ed.1.996.
- "Comunicaciones y redes de computadores"
William Stallings
Ed. MacMillan, 4ª ed. 1.994.
- "Comunicacion de datos, Redes de computadores y sistemas abiertos"
F.Halsal.
Ed. Addison Wesley 4ª ed., 1.998.
- "Redes Globales de información con Internet y TCP/IP"
Douglas E. Comer
Editorial Prentice–Hall 3ª Edición 1996