

# La evolución en la arquitectura de las redes

Ing. Alvaro Pachón D.

*Departamento de Redes y Comunicaciones  
Universidad Icesi-I2T.*

## RESUMEN

Los desarrollos tecnológicos y las siempre cambiantes realidades de la organización se han convertido en agentes que han obligado a los diseñadores a repensar la estructura de la red. El incremento en el número de usuarios y en el número de aplicaciones que utilizan la red incrementó el tráfico a volúmenes nunca antes sospechados, se hizo entonces necesario concebir su estructura como una estructura jerárquica y modular, con diferentes requerimientos de capaci-

dad y desempeño en cada nivel, y obligó a entender su diseño como un proceso. En este artículo nos proponemos presentar la evolución que ha tenido la arquitectura de una red para responder a los frecuentes cambios a los que se ven expuestas las organizaciones en las que existen.

## PALABRAS CLAVES

Diseño de redes, interconectividad, conmutación.

**Clasificación: B.**

## ABSTRAC

The ever-changing reality of organizations and the developments in technology have forced designers to rethink the structure of corporate networks. The increase in the number of users and applications using the network has produced a very sharp traffic increase. Thus, the network structure has been redesigned to include the concepts of hierarchy and modularity, permitting different ca-

capacity and performance at the different levels of such hierarchy. Also, the design of a network is now seen as a well defined process. This article portrays the evolution the network architecture has experienced, in order to accommodate to the frequent changes in the organization.

### KEYWORDS:

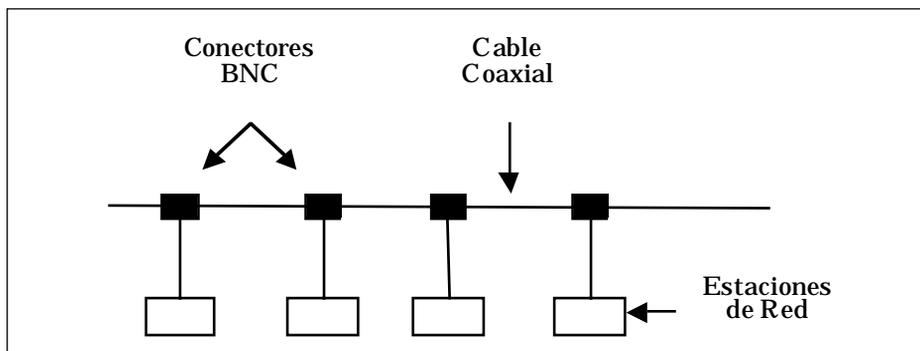
Network Architecture, Internetworking, Switching.

## INICIO DE LAS REDES DE COMUNICACIÓN

Las redes de comunicación surgieron a partir de la necesidad que tenían los usuarios de compartir un conjunto diverso de recursos distribuidos, dichas redes se convirtieron en el vehículo que permitió el intercambio de información. En el caso de las redes locales (*LANs-Local Area Networks*) prevalecieron las llamadas redes de difusión. Una red de difusión es aquella en la cual todas las estaciones comparten el canal de comunicaciones y cuando una de ellas transmite, todas las demás la escuchan. Dos formas básicas de interconexión y de acceso al canal de comunicaciones pugnaron por obtener la supremacía; de un lado estaban las redes con topología en bus, y por otro las redes que tenían topología en anillo. En las redes con topología en bus el acceso al canal se resolvía por contienda, ello daba lugar a frecuentes colisiones entre las estaciones que deseaban transmitir. En las redes que tenían topología en anillo un "testigo" (token) mediaba el acceso al canal, sólo aquella estación que tenía en su poder el testigo podía enviar información a través del canal. Razones de orden económico hi-

cieron que las redes con topología en bus y con protocolo de acceso al canal basado en contienda prevalecieron. Las redes del tipo Ethernet, como fueron conocidas, reinan desde entonces en el ambiente de las redes locales, el hecho de pugnar por el canal, de generar colisiones, tiene un efecto directo sobre el desempeño de la red ya que resulta imposible predecir con exactitud el momento en el cual una estación de la red pueda transmitir. En esta evolución histórica, las redes Ethernet de medio compartido se constituyen en el punto de partida.

Cabe una pregunta: ¿Cómo se implementaron las redes Ethernet de medio compartido? Este tipo de redes utilizaban generalmente cable coaxial delgado, del tipo RG-58, y conectores del tipo BNC. La topología física de la red era en bus y se instalaba en cada estación una tarjeta de red que tenía una interfaz física que la conectaba al canal. No existía ningún tipo de jerarquía, la red era completamente plana y la topología física (la forma como se interconectaban las estaciones) coincidía con la topología lógica (la forma como las estaciones pugnaban por el uso del canal). Ver Figura 1.



**Figura 1.** Red Ethernet de medio compartido basada en cable coaxial.

Las estaciones de red interconectadas con topología en bus dieron lugar al concepto de dominio de colisión. Un dominio de colisión es el conjunto de todas aquellas estaciones que en un momento dado pugnan o compiten por el uso del canal. En la medida que el dominio de colisión sea más grande, mayor será el número potencial de colisiones, y por consiguiente, menor el desempeño de la red. Como se verá un poco más adelante, el incremento en el número de usuarios que hacen parte de una red corporativa tendrá efectos devastadores sobre este tipo de redes.

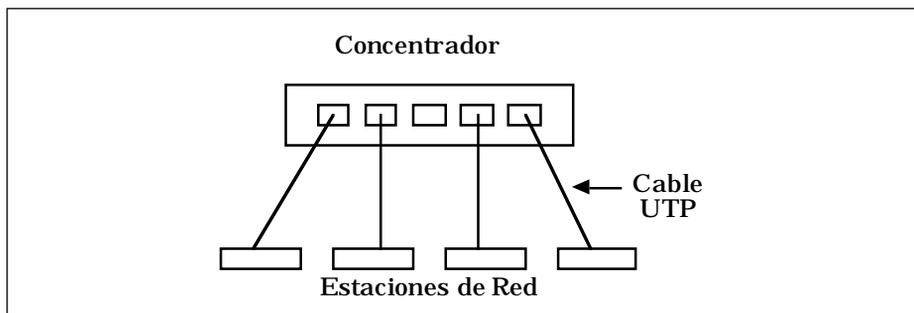
Las redes Ethernet de medio compartido fueron muy populares en las organizaciones, sin embargo, muy pronto las dificultades empezaron a surgir; la administración y la solución de problemas se volvieron prácticamente inmanejables. Los conectores del tipo BNC obligaban a cortar físicamente el cable coaxial y cuando, por alguna razón, se desconectaba el segmento físico de cable del conector, la conexión en bus desaparecía y la comunicación no era posible, existían entonces N puntos de falla en la red, tantos como estaciones hubiera.

El siguiente paso en la evolución tuvo lugar con la aparición de los sistemas de cableado estructurado. La gran mayoría de las dificultades asociadas con la administración en las redes Ethernet de medio compartido basadas en cable coaxial se encontraban en el nivel físico; el cableado estructurado resolvió muchas de estas dificultades. El cable coaxial fue cambiado por cable UTP (*Unshielded Twisted Pair*), lo cual significó un retroceso en términos del canal, dado que las características de transmisión del

cable coaxial son superiores a las ofrecidas por el cable UTP. Sin embargo, la diferencia fundamental radicó en la utilización de un concentrador (hub), el cual se constituyó en el núcleo de una topología física en estrella que permitió centralizar muchas de las tareas de administración. Ahora, en lugar de ir de estación en estación tratando de localizar una falla, se visitaba el cuarto de cableado y se revisaba el estado de cada uno de los puertos del concentrador para encontrar la fuente de las dificultades.

El cableado estructurado produjo un cambio significativo en la estructura de la red. A partir de este momento las redes tienen una topología punto a punto, son redes que físicamente tienen una topología en estrella, sin embargo; y gracias al comportamiento del concentrador, la topología lógica de la red seguía siendo en bus, cuando una estación “habla” (transmite sobre el canal), el concentrador se encarga de repetir aquello que “escuchó” a cada uno de los puertos restantes, es decir, “cuando alguien habla, todos escuchan” (el principio operativo de las redes de difusión en bus). En conclusión, el gran aporte del cableado estructurado fue el permitir tener una topología física diferente a la topología lógica, las redes se configuraban en estrella pero seguían siendo redes de medio compartido, estaban basadas en cable UTP y no existía ninguna relación jerárquica, la red era completamente plana (Ver Figura 2).

Hasta ahora los fenómenos que hemos analizado son de carácter eminentemente tecnológico, específicamente en el área del hardware. Sin embargo, es tiempo de echar un vis-



**Figura 2.** Cableado estructurado. Red Ethernet de medio compartido basada en cable UTP.

tazo a lo que está ocurriendo en ese mismo instante en el software y en la organización.

En las empresas, el número de usuarios conectados a la red crece día a día. Hasta entonces, la tarjeta de red era un periférico que se cotizaba de forma independiente y opcional por parte del proveedor; a partir de este instante, los equipos de procesamiento de datos tienen incorporada la tarjeta de red en su configuración estándar porque se supone que serán utilizados como estaciones de red. En el software, se incrementa significativamente el número de aplicaciones que operan en ambiente de red; por otra parte, el tamaño de los bloques de información que son transmitidos a través de la red también se amplía.

Estamos entonces ante una situación en la cual se aumenta el número de usuarios de red, el de aplicaciones de red y el tamaño de los bloques de información que transitan a través de ella. El resultado: un incremento exponencial en el tráfico que la red debe administrar y es aquí donde debemos pagar el precio de haber optado por una tecnología de contienda en el uso del canal. El crecimiento desmesura-

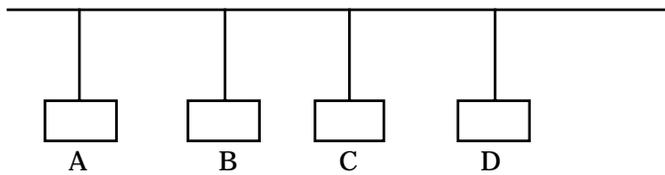
do en el volumen de tráfico generado en el dominio de colisión produjo un colapso en las redes, a este colapso se lo denominó la “crisis del ancho de banda”: la demanda de ancho de banda de los usuarios y sus aplicaciones empezaba a superar la oferta que era capaz de presentar la red.

Para enfrentar este desafío se presentaron dos posibles soluciones: la utilización de tecnologías de alta velocidad y la segmentación. La primera implicaba desarrollar o actualizar mecanismos que permitieran enviar una mayor tasa de bits por segundo en el canal, aquí también se presentaron dos posibles soluciones: la primera, romper de una vez por todas con las redes Ethernet y repensar el mecanismo de acceso al medio surgiendo alternativas como FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*), una propuesta de ANSI (*American National Standards Institute*) para contar con un anillo en fibra óptica a 100 Mbps; la otra tecnología representante de esta variante fue 100 VGAnyLAN en la que también se replanteaba el mecanismo de acceso al medio. El optar por este camino hubiera significado, en todos los casos, haber

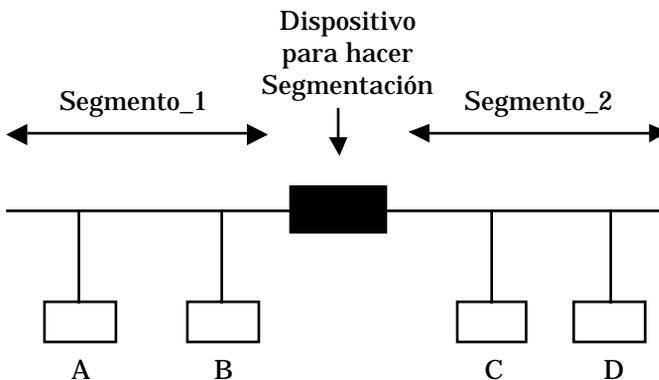
cambiado todas las tarjetas de comunicación tanto de las estaciones de red como de los equipos de interconectividad, aspecto que desde el punto de vista económico y práctico resultaba inmanejable. La segunda de las soluciones proponía incrementar la tasa de transmisión de la Ethernet convencional; en lugar de contar con un canal de capacidad nominal de 10 Mbps, se dispondría de un canal de 100 Mbps, esta alternativa fue la que finalmente se impuso y parecía que iba a ser la solución definitiva a la “crisis del ancho de banda” a no ser por un aspecto de trascendental importancia: este enfoque de solución se concentraba en atacar los síntomas del problema pero no en resolver las causas del mismo, si bien resultaba posible contar con un canal de mayor

capacidad no se hacía nada respecto del tamaño del dominio de colisión, la fuente del problema. De hecho, la misma realidad se ha encargado de mostrarnos que este enfoque no se ha constituido en solución, los desarrollos de GigabitEthernet y de 10GigabitEthernet así lo demuestran.

La otra posible ruta de solución al problema de la crisis del ancho de banda estaba en la segmentación. Segmentar una red implica descomponer un dominio de colisión en dos o más, de tal manera que se disminuya el número de estaciones de red que pugnan por el uso del canal. Este enfoque de solución realmente enfrenta las causas del problema y provocó un replanteamiento en el diseño y en la estructura de la red (Ver Figuras 3a y 3b).



**Figura 3a.** Un solo dominio de colisión.

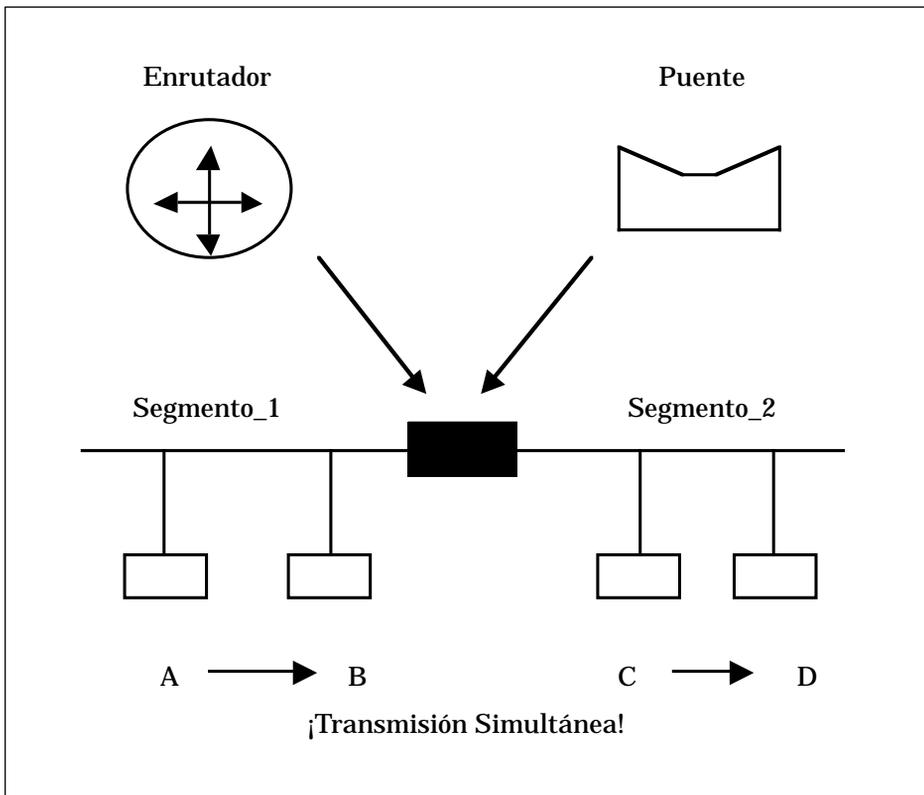


**Figura 3b.** Dos dominios de colisión.

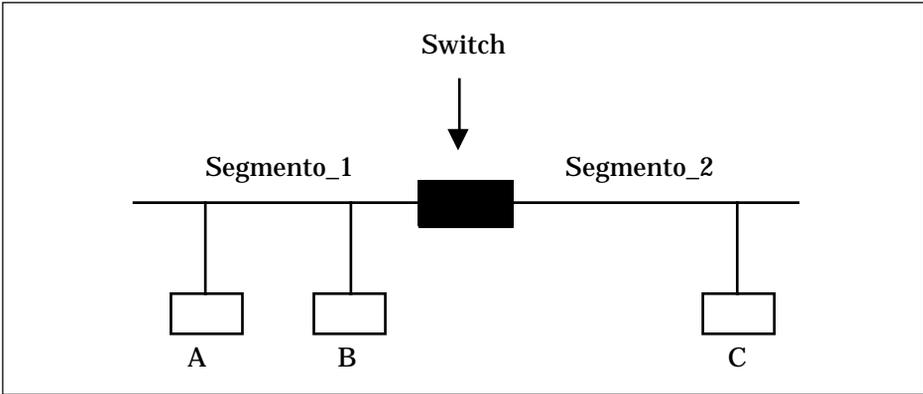
Surge una pregunta: ¿Cómo se puede efectuar una segmentación de la red? Inicialmente, la segmentación fue realizada utilizando puentes (*bridges*) o enrutadores (*routers*). Sin embargo, aunque la orientación de la solución era la adecuada, su implementación no lo era. Los puentes y los enrutadores son dispositivos de interconectividad, por principio filosófico de operación, su tarea fundamental es la de conectar redes, entonces, ¿cómo podrían ser empleados para producir el efecto contrario?

En estos dispositivos se aprovechaba el proceso de filtrado, uno de los procesos básicos que gobiernan su operación para efectuar la segmentación.

Detallemos un poco más en qué consiste el proceso de filtrado (Ver Figura 4): cuando la estación A desea enviar información a la estación B, resulta claro que tanto la estación origen como la estación destino se encuentran en el mismo segmento de red, por lo tanto, el dispositivo de interconectividad (el enrutador o el puente) NO retransmite la información hacia el otro segmento. Ello permite que C pueda estar simultáneamente hablándole a D, de esta manera, el tamaño de los dominios de colisión se hace más pequeño y en promedio cada estación tendrá la posibilidad de transmitir una mayor cantidad de información.



**Figura 4.** Segmentación utilizando un enrutador/puente.



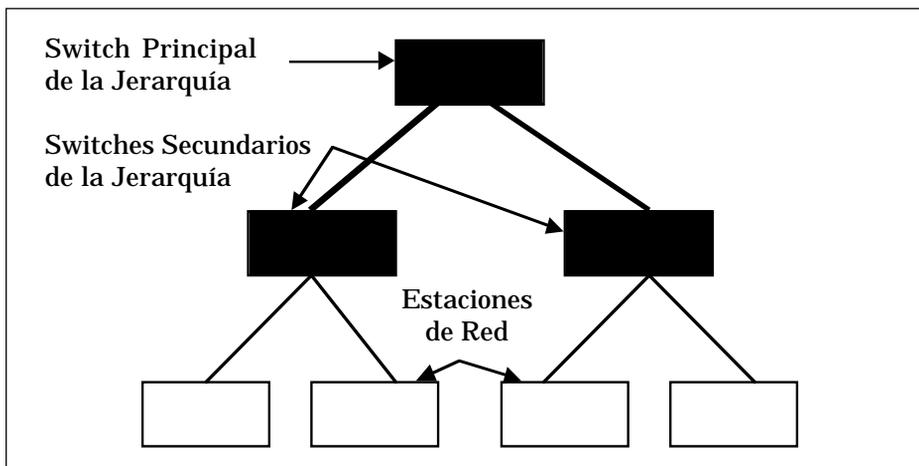
**Figura 5.** Segmentación utilizando un switch. Red de Medio Dedicado.

Surgió entonces la necesidad de contar con un dispositivo que permitiera realizar la segmentación de las redes: El switch, un dispositivo especializado en realizar conmutación de tramas. En esencia, un switch no es otra cosa que un bridge multipuerto con hardware especializado en conmutación. Cada uno de sus puertos da lugar a un dominio de colisión independiente permitiendo, en el mejor de los casos, que toda la capacidad de canal se asigne a una estación de red. El switch cambió sustancialmente el diseño de la red, permitiendo la evolución desde una red de medio compartido hasta una red de medio dedicado. (Ver Figura No. 5.) En la Figura anterior (No. 5), la presencia del switch da lugar a dos segmentos. En el primero, las estaciones A y B constituyen el primer dominio de colisión, y en el segundo, la estación C constituye el segundo dominio de colisión. En este caso, la estación C no pugna con ninguna otra por el acceso al canal. A esta forma de segmentación en la cual no existe pugna por el canal se la denominó microsegmentación. Con el advenimiento de la microsegmentación, la contienda por

el uso del canal resulta inútil, se hace necesario efectuar una modificación sobre el mecanismo de acceso al canal.

Hasta ahora, las redes tenían una estructura plana, no existía una jerarquía. El siguiente paso en la evolución estuvo determinado por el establecimiento de una jerarquía en los switches de la red (Ver Figura 6).

La estructura mostrada en la Figura 6 ha sido denominada de “backbone colapsado”, en ella, vale la pena anotar lo siguiente: los enlaces entre los switches (principal y secundarios) son generalmente enlaces en fibra óptica, los enlaces entre los switches secundarios y las estaciones de red son generalmente enlaces en cable UTP. Vemos entonces cómo en la red se produce una mezcla de medios físicos; por otra parte, se dice que el backbone colapsó porque el backbone de la red se encuentra ahora distribuido entre los switches y los enlaces de fibra que los comunican. Igualmente, la capacidad de los enlaces no es uniforme como lo era en la etapa evolutiva previa, ahora resulta posible tener enlaces de alta



**Figura 6.** Estructura jerárquica de una red.

capacidad entre los switches, o entre los switches y los servidores (Ethernet a 100 Mbps o Fast Ethernet) y enlaces convencionales (Ethernet a 10 Mbps) entre los switches y las estaciones de red que hacen las veces de clientes.

Tenemos entonces ahora una red jerárquica, de medio dedicado, con enlaces de alta capacidad en el backbone. En este punto del proceso evolutivo, parece ser que todas las posibles mejoras que se podían realizar en el nivel de enlace de datos han sido efectuadas. Para entender el próximo paso en la evolución de la red necesitamos entender el concepto de dominio de broadcast. Un dominio de broadcast es el conjunto de aquellas estaciones que “escuchan” un mensaje de broadcast (un mensaje generado por una estación en particular para todas las estaciones que componen la red). El switch, como dispositivo de nivel dos, es incapaz de contener el tráfico de broadcast, este tipo de tráfico sólo puede ser limitado por un enrutador, precisamente un dispositivo de nivel tres.

El broadcast excesivo tiene un efecto indeseado sobre el desempeño de la red, en primer lugar porque la congestiona (es tráfico que efectivamente viaja a través de los diferentes enlaces) y en segundo lugar porque al estar dirigido hacia todas las estaciones debe ser procesado por ellas, lo que implica un consumo de recursos de cómputo en cada estación. Muchos protocolos y servicios de red utilizan el broadcast como estrategia de notificación a las demás estaciones de la red, por esta razón un diseñador de red debería tratar de evitar su excesiva proliferación.

De la misma manera que en un momento dado se hizo necesario hacer más pequeños los dominios de colisión, en este punto del proceso evolutivo necesitamos limitar el alcance del dominio de broadcast. Sin embargo, como lo dijimos anteriormente, el switch es incapaz de contener el tráfico de broadcast, se hace necesario entonces ascender un nivel e ir desde el nivel 2 (nivel de enlace de datos) hasta el nivel 3 (nivel de red) para resolver el problema.

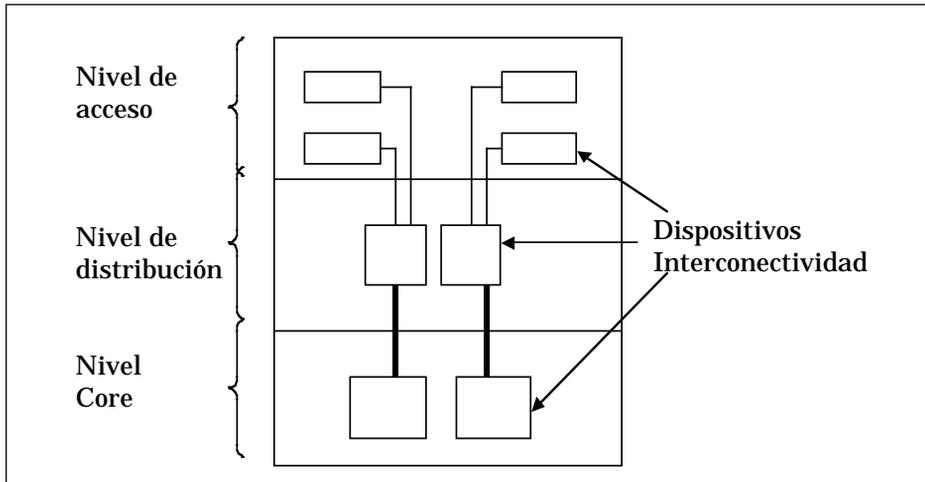
Para contener o limitar el tráfico de broadcast se han propuesto dos opciones: Una, la utilización de redes virtuales (VLANs), y la otra, extender el concepto de conmutación al nivel tres y utilizar switches de nivel tres. Una red virtual (*VLAN, Virtual LAN*), como su nombre lo sugiere, es un agrupamiento virtual de nodos en un dominio de broadcast, el administrador de la red, utilizando alguna herramienta de software, realiza dicho agrupamiento. La gran ventaja derivada de la utilización de las VLANs es que permiten contener el tráfico de broadcast y efectuar una separación de los flujos de tráfico. Para permitir la comunicación entre usuarios que pertenecen a diferentes redes virtuales es necesario utilizar una función de nivel tres, a través de un enrutador o de un switch de nivel tres.

Ya habíamos hecho referencia a las dificultades, en cuanto a costo y desempeño, que ofrece un enrutador como alternativa de segmentación. Sin embargo, para salvar estas dificultades se propuso una solución: utilizar en el ambiente LAN un dispositivo especializado en conmutación, implementado completamente en hardware y especializado en el manejo del protocolo IP, a este dispositivo se lo conoce como switch de nivel tres. El desarrollo del switch de nivel tres permite contar en la red de área local con un dispositivo de alto desempeño capaz de realizar las tareas de un enrutador.

Surge una pregunta: ¿Cuáles son las consecuencias que se derivan de estos nuevos desarrollos? Para responder tendríamos que decir que la estructura de las redes evoluciona hacia una estructura jerárquica en va-

rios niveles y que esta red utiliza diferentes niveles de conmutación (conmutación de nivel dos y conmutación de nivel tres) con diferentes velocidades de acceso al medio (10 Mbps, 100 Mbps y 1000 Mbps).

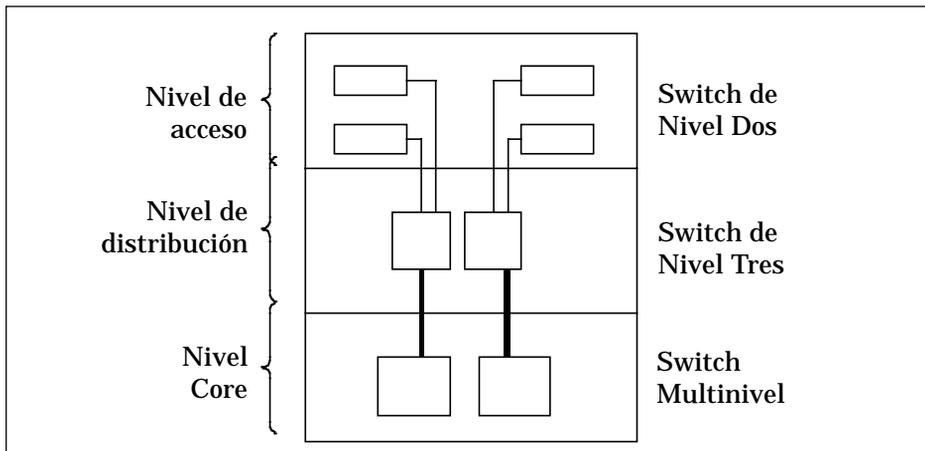
Cisco propone una estructura para la red constituida por tres niveles: El nivel de acceso, el nivel de distribución y el nivel núcleo (o "core" de la red). Las responsabilidades de cada nivel son complementarias, el establecer una jerarquía para la red permite realizar un diseño modular y funcionalmente especializado. El nivel de acceso es el punto de entrada a la red; en este nivel de la jerarquía se conectan las estaciones del usuario, generalmente el acceso se realiza utilizando un hub o un switch de nivel dos. Este nivel corresponde con un área funcional de la organización y permite la transferencia de información entre las personas que hacen parte del grupo de trabajo (*work-group*). El siguiente nivel dentro de la jerarquía corresponde con el nivel de distribución; este nivel se constituye en el punto de acceso a los diferentes grupos de trabajo. Por la naturaleza de su ubicación, es el sitio en donde se imponen las más fuertes restricciones de acceso y de seguridad, en este nivel encontramos funciones típicas de nivel tres. Finalmente, se encuentra el nivel de núcleo ("core") que corresponde con el backbone de la red; este nivel se encarga de transportar grandes volúmenes de datos a gran velocidad. Para poder cumplir con su objetivo es necesario que no se impongan grandes restricciones ni verificaciones al tráfico que circula a través de este nivel de la jerarquía (Ver Figura 7).



**Figura 7.** Estructura jerárquica de una red.

Cabe aquí un nuevo concepto: “*Multilayer Switching*” como resultado de la evolución de las tecnologías LAN y de interconectividad. Los dispositivos multinivel combinan características del nivel dos (nivel de enlace de datos) y del nivel tres (nivel de red) en switches híbridos que pueden enrutar paquetes a velocidades de hardware. Un switch básico es un puente multipuertos, como ya se mencionó estos switches fueron desarrollados

para permitir la microsegmentación en redes locales. A medida que la tecnología evolucionó se le adicionaron funciones de enrutamiento en hardware y la posibilidad de analizar aquella información contenida en los paquetes que pudiera colaborar en el proceso de envío; de esta forma, los switches multinivel son dispositivos que examinan la información relacionada con los niveles 2 hasta el 7 del modelo OSI (Ver Figura 8).



**Figura 8.** Dispositivos de interconectividad en los diferentes niveles de la estructura jerárquica de la red.

Estamos entonces en un estado evolutivo en el cual la estructura de la red es jerárquica, el dispositivo de interconectividad que reina es el switch. Teniendo en cuenta la convergencia (un componente que le agrega complejidad al diseño), las redes de hoy, más que redes de datos, son redes de información: flujos de información de datos, de voz y de video surcan las redes modernas, los dispositivos de interconectividad deben estar en capacidad de reconocerlos y darles un tratamiento diferenciado, aspecto este al que llamaremos "calidad de servicio". La red debe estar en capacidad de comprometerse a ofrecer servicios de diferente tipo, dependiendo del tipo de información que se quiera transferir a través de ella, los requerimientos de retraso en la transferencia, de variación del mismo (varianza) y de capacidad de transmisión deben ser reconocidos y entendidos por los diferentes dispositivos que conforman la arquitectura de una red.

Toda esta reflexión nos conduce a pensar en la necesidad de contar con una metodología que permita abordar con éxito el proceso de diseño de una red. Existen razones de orden económico y tecnológico que lo justifican; por una parte, la red se ha convertido en un recurso estratégico para la organización, muchos de sus procesos y aplicaciones corren sobre ella; por lo tanto, se imponen requerimientos de alto desempeño y de alta disponibilidad.

Por otra parte, según lo hemos venido mostrando en este artículo, la estructura de la red se ha vuelto jerárquica, funcionalmente modular, con tecnologías de conmutación (*switching*) de diferente nivel y capacidad de transmisión variable en cada uno de sus niveles. La red corporativa ha adquirido el compromiso de ofrecer servicios diferenciados a aplicaciones y usuarios que necesitan transferir información de carácter multimedia a través de ella. ☀

## BIBLIOGRAFÍA

Top Down Network Design. *Oppenheimer; Priscilla. Cisco Press.*

Building Cisco Multilayer Switched Networks. *Cisco Press.*

Computer Networks. *Tanenbaum, Andrew. Prentice Hall.*

## CURRICULUM

**Alvaro Pachón.** Ingeniero de Sistemas-Universidad Icesi. Grado con Honores Magna Cum Laude. Especialización Redes y Comunicaciones-Universidad del Valle. Cargos Desempeñados: Director Programa Ingeniería Telemática. Director Especialización Gerencia de Informática. Cargo Actual: Jefe Departamento Redes y Comunicaciones. Director Especialización Redes Y Comunicaciones.