

# Ethernet Global y UETS: Características, retos y perspectivas

José Morales Barroso ([jmb@ieee.org](mailto:jmb@ieee.org)) L&M Data Communications  
Guillermo Ibañez Fernández ([gibanez@it.uc3m.es](mailto:gibanez@it.uc3m.es)) Universidad Carlos III Madrid  
Avenida de la Universidad 30.  
91-6248794, 91-6248749

## Resumen

Este artículo describe las características, situación y perspectivas de UETS (Universal Ethernet Telecommunications Service), una nueva arquitectura jerárquica escalable de conmutación. UETS emplea direcciones MAC jerárquicamente asignadas y direcciones MAC universales y soporta diferentes tipos de conmutadores. Cuando se precisan las máximas prestaciones, puede utilizarse opcionalmente conmutación hardware de tramas Ethernet mediante decodificación directa de la dirección destino en conmutadores que utilizan direcciones dependientes de la topología en parte de sus puertos. UETS también puede emplear opcionalmente una pila de protocolos simplificada para superar los límites de prestaciones de TCP/IP. Esta pila utiliza los protocolos estándar LLC/HDLC orientados a y no orientados a conexión sobre Ethernet en lugar de los protocolos de transporte (TCP/UDP) sobre IP y Ethernet. La arquitectura permite escalabilidad a nivel global, tiene seguridad intrínseca, coste bajo y es compatible con las redes Ethernet e IP, requiriendo continuidad dentro de cada dominio UETS.

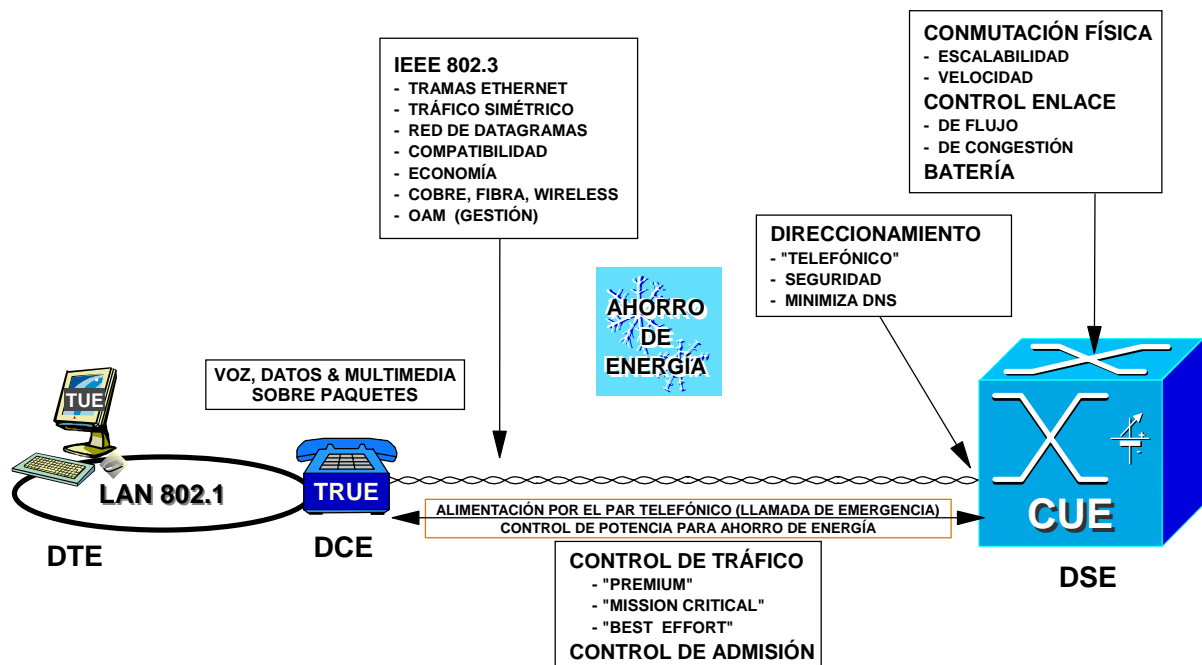


Figura 1. Elementos de red del Servicio basado en UETS.

## 1. Introducción

Hoy en día, todo el mundo está de acuerdo en que el futuro de las redes es “todo IP,” sin embargo, debemos preguntarnos si el futuro no debería ser “todo Ethernet”, tal y como las tres pasadas décadas de evolución de Ethernet nos atestiguan.

Existen diversas propuestas en el IEEE [1] para aumentar la escalabilidad de Ethernet, incluso hasta grandes tamaños de red como los de ISPs, MAN y WAN. Ninguna de ellas utiliza direcciones jerárquicas por lo que no es posible la agregación de rutas por lo que su escalabilidad es limitada y obtenida a base de complejidad derivada de forzar

el uso del modelo 802.1D (bridges con árbol de expansión) y 802.1Q (VLANs) fuera de sus redes objetivo en cuanto a tamaño de red y a finalidad de las VLAN para utilizarlas como parte de identificadores de conexión (PBT, PBB, PVT).

En el ámbito de redes campus, los grupos de trabajo TRILL (IETF) y Shortest Path Bridging (IEEE 802.1aq) definen redes combinadas de bridges y bridges capaces de usar y calcular caminos mínimos para obtener redes mayores, pero asumiendo las fuertes restricciones propias de escalabilidad de los protocolos de estado de enlace en cuanto a número de nodos.

## 2. Arquitectura del sistema

La base del sistema UETS [3] es simple: la actual normativa IEEE 802 permite ofrecer los mismos servicios a nivel 2 (enlace) que los que ofrece el TCP/IP a nivel 4 (transporte), con la diferencia de que en el primer caso el sistema puede ser hardware y en el segundo está basado en software. No es necesario reescribir las aplicaciones Internet-TCP/IP para adaptarlas al nuevo sistema, pues este las soporta sin cambios: sólo son necesarios los conectores (sockets) a Ethernet, lo que es trivial. En combinación con las técnicas de Voz sobre Paquetes (VoP), es posible integrar la Red Telefónica, la Banda Ancha e Internet sobre una única infraestructura basada en Ethernet. Esto aporta tres grandes ventajas: velocidad, escalabilidad y seguridad.

- Velocidad: Los servidores pueden soportar muy altas velocidades al realizarse los procesos de red 802/Ethernet en hardware, en lugar del software de TCP/IP.
- Escalabilidad: Se usa directamente la dirección MAC local para la conmutación, por lo que la red física y lógica coinciden: no hay routing ni existen tablas de conmutación. Esto permite, en un solo dominio, hasta 70.368.744.177.664 direcciones.
- Seguridad: La clave de la seguridad se encuentra en la Central Universal (CUE.) Los servicios de red son accesibles sin los severos riesgos de seguridad

comunes al TCP/IP, al estar los dominios Ethernet e IP totalmente aislados.

La actual INTERNET de IPv4, con sus cuatro octetos, tiene 4.294.967.296 posibles direcciones que, junto con los 1.250 millones de teléfonos de la red telefónica fija, y 3.000 millones de móviles, ocuparían una mínima parte de un solo dominio "INTHERNET-UETS." El protocolo IPv6 tiene muchas más direcciones, pero sigue siendo un nivel de red, por lo que no resuelve la limitación de prestaciones y además implica migración desde IPv4, lo que no es necesario con UETS, al estar basado en Ethernet.

Los principales elementos y características del sistema UETS se pueden describir como un conjunto de elementos físicos (TUE, TRUE, CUE) y lógicos (las aplicaciones Internet), con una Arquitectura de Comunicaciones basada en la doble pila TCP/IP - Ethernet/802. La Figura 1 describe gráficamente los elementos de red del Servicio basado en UETS con sus funciones y características más relevantes.

Otra característica diferencial respecto a las redes IP es que las funciones de control de flujo, de congestión y la detección y corrección de errores se realizan en cooperación entre los terminales (TUE) y las centrales (CUE) mediante procedimientos de nivel de enlace, permitiendo garantizar el ancho de banda y el retardo que requieran las aplicaciones.

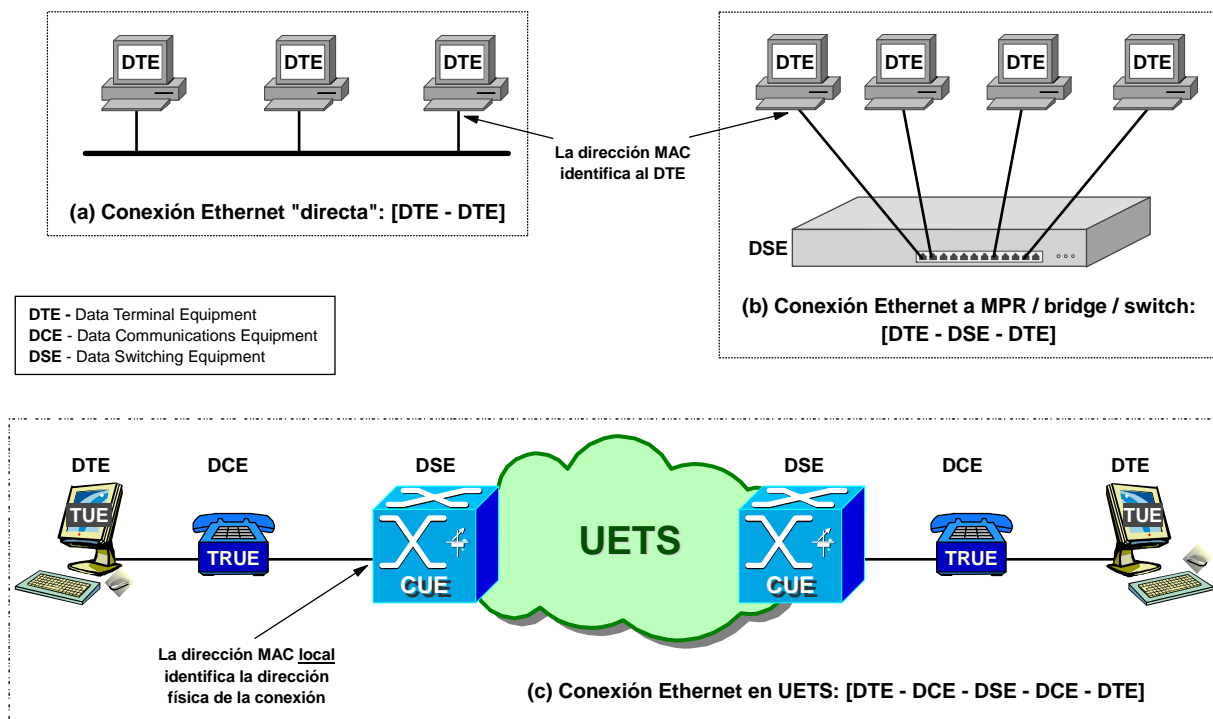


Figura 2. Arquitectura Ethernet clásica vs UETS.

### 3. Descripción del servicio

En UETS se utiliza como nodo de red la Central para el servicio Universal de telecomunicaciones Ethernet (CUE), en la que el direccionamiento y encaminamiento de las tramas emplea direcciones MAC locales, es decir, con el bit U/L puesto a uno, que permite distinguir en cada dominio Ethernet más de 70 billones de conexiones distintas en el modo unicast (con el bit I/G = 0) y otras tantas en multicast (con el bit I/G = 1). Al coincidir en este caso las direcciones lógicas y físicas de red, la dirección de destino lleva ya la información para el

encaminamiento, siendo innecesaria la resolución de direcciones, las técnicas de bridging (IEEE 802.1), routing (IETF) o señalización (ITU) y sus tablas adicionales. En UETS pueden utilizarse, de forma complementaria, las técnicas de VLAN que permiten distinguir 4.096 usuarios por cada una de las conexiones posibles.

Los usuarios se conectan a la red mediante el Terminal Universal Ethernet (TUE) que, dentro del dominio Ethernet de UETS, transporta los datos con el protocolo IEEE 802.2/LLC, ofreciendo así los servicios de red en el nivel de enlace, en lugar del nivel de transporte empleado en la arquitectura

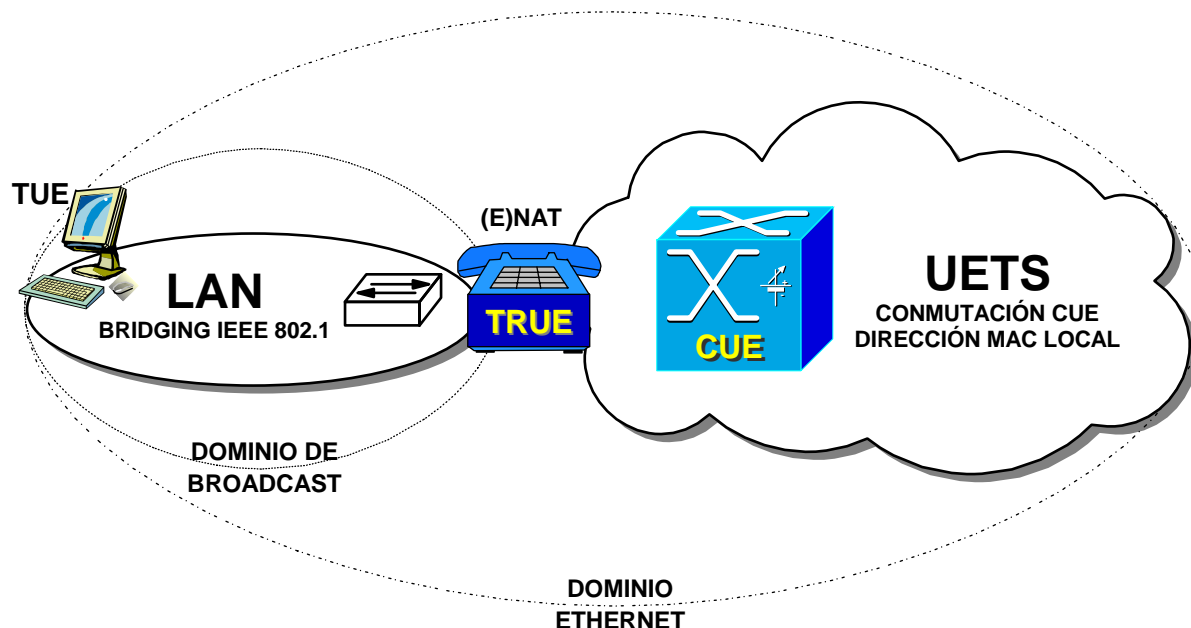


Figura 3. Dominios Ethernet y de "broadcast"

TCP/IP clásica. Esto es lo que hace posible el control de flujo y congestión de red en colaboración con los nodos de red CUEs. Si tomamos como referencia la evolución de las redes de circuitos virtuales, cuando el protocolo X.25, de nivel 3, hizo imposible técnicamente aumentar la velocidad de las conexiones de red, se pasó a conmutar en el nivel 2 con Frame Relay, y posteriormente en el nivel físico con ATM. En el caso de Internet, sería elemental adaptar las aplicaciones para que en lugar del protocolo IP utilicen directamente el encapsulado MAC 802.3, con sus 6 octetos de direcciones. Mientras que los datagramas IP tienen que progresarse por procedimientos de routing, las tramas MAC 802.3 utilizan el bridging IEEE 802.1, muy maduro y probado en el ámbito de las redes locales, a los que se añade el nuevo mecanismo de conmutación física de la central UETS, imprescindible para poder ofrecer los servicios avanzados de red que aquí se plantean.

Este sistema realiza la conmutación de tramas en el nivel físico, lo que le permite alcanzar velocidades extraordinariamente altas, en el rango

Terabit. El servicio ofrecido utiliza para conmutar las direcciones físicas de los nodos de red, lo que supone a una Red Privada Virtual de nivel 2 en modo multipunto a multipunto, con capacidad para un número de terminales varios órdenes de magnitud superior a la actual Internet. Al no poder falsificarse las direcciones, cualquier ataque potencial es inmediatamente identificado e interceptado por la central.

En los "dominios Ethernet" clásicos, la dirección MAC identifica el terminal. Los terminales (DTEs) se comunican entre sí directamente (DTE-DTE) cuando están conectados por un medio compartido, como el cable coaxial de 10BASE5 Y 10BASE2 y los repetidores multipuerta (MPRs 10BASE-T o 100BASE-T), o a través de un equipo de red (DTE-DSE-DTE) con puentes o conmutadores de nivel 2 (BRIDGES 802.1.) En los sistemas 802.1, es necesario que el nodo de red establezca la asociación entre la dirección física de red y la dirección MAC del terminal conectado a ella mediante la correspondiente tabla de conmutación. Ver (a) y (b) en la Figura 2.

En el “dominio Ethernet” de UETS cambia totalmente el modo de funcionamiento, pues en él, los terminales (DTE/TUE) se conectan a través del dispositivo de acceso (DCE/TRUE) a los nodos de conmutación (DSE/CUE), al modo de las redes clásicas de telecomunicaciones: de ahí la denominación Servicio Universal de Telecomunicaciones. Su principal novedad es que utiliza las direcciones MAC locales, que sirven directamente para la conmutación, identificando la dirección física del nodo de red (no la del terminal) según se describe en (c) en la Figura 2. Por ello no son necesarias tablas de ningún tipo, pues la propia dirección lleva la información de encaminamiento. Este modo de operación, totalmente novedoso en el entorno Ethernet, constituye la base de la convergencia de las redes de telecomunicaciones y las redes de área local, con el acceso DTE (TUE) - DCE (TRUE) - DSE (CUE) y la extensión del “dominio Ethernet” a la red de la operadora.

La utilización de los protocolos IEEE 802.2 LLC en el dominio Ethernet permite: el empleo de las direcciones MAC gestionadas localmente, que son la base fundamental de la operación de los conmutadores (CUE) de gama alta; identificar los

servicios mediante la combinación de las direcciones MAC y los campos LLC para aplicar mecanismos de control de congestión basados en tres niveles de prioridades; la utilización de direcciones MAC locales para identificar el equipo en el ámbito del dominio Ethernet; la aplicación de técnicas de control de flujo basadas en los mecanismos del protocolo LLC, al que se incorporan los procedimientos empleados en el control de congestión del TCP y se añaden opciones del protocolo HDLC, al que pertenece el LLC, como el rechazo selectivo de tramas.

El sistema UETS extiende el “dominio Ethernet” a la red del proveedor de servicios de manera que, gracias a la utilización de las direcciones MAC locales, se amplían a más de 70 billones de direcciones de red, según se describe esquemáticamente en la Figura 3, donde se distinguen los dominios Ethernet y de “broadcast” para los sistemas basados en IEEE 802.1 y UETS. Adicionalmente, las aplicaciones en el dominio Ethernet utilizan los protocolos IEEE 802.2 LLC, identificándose los servicios mediante la combinación de direcciones MAC y campos del protocolo LLC.

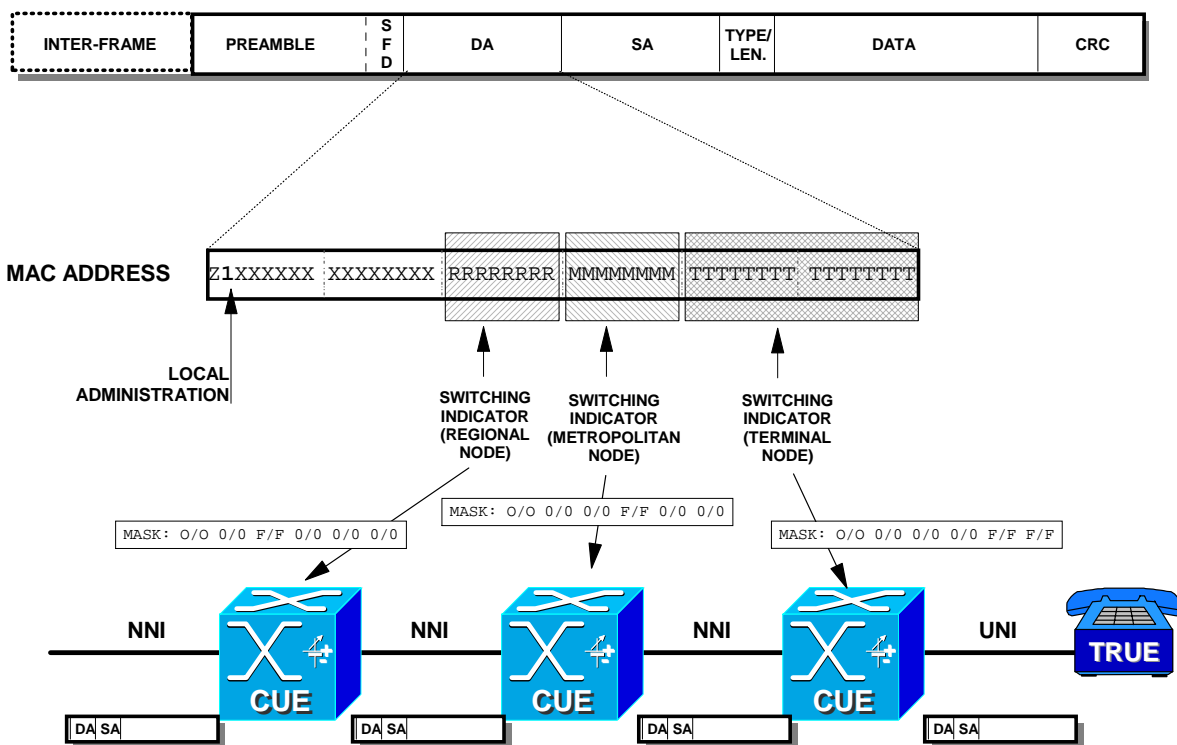


Fig. 4. Direcciones jerárquicas MAC locales (LMAC) y máscaras.

En las aplicaciones corporativas son típicos los servicios basados en Ethernet, que proporcionan conexiones “punto a punto,” en los que es necesaria la resolución de direcciones para el tráfico de nivel 2 entre redes de nivel 2 dispares. Este sistema es aplicable a redes IP sobre VLAN, con técnica de túneles en la red del proveedor de servicios para extender la internet IP. Como ya se ha descrito, el sistema UETS proporciona comunicaciones

“multipunto a multipunto” mediante la utilización de las direcciones MAC locales, que identifican directamente la dirección física, haciendo innecesaria su resolución. Ver Figura 4.

Esto permite la extensión de los servicios de red, en modo multipunto a multipunto, de la red local a la infraestructura de las operadoras y los proveedores de servicio en el dominio Ethernet.

## 4. Estado del arte

Los equipos estándar actuales utilizan la arquitectura clásica con dispositivos basados en puentes IEEE 802.1 o routers IP y sus correspondientes tablas de encaminamiento, con servicios basados en VLANs. Son típicas las redes compuestas de conmutadores de nivel 2 y routers IP como equipos de usuario, conectados a conmutadores en el "core" que emplean la técnica "Q-in-Q", normalizada por el comité IEEE 802.1ad.

Esto hace que el número de usuarios en la extensión del dominio Ethernet de nivel 2 al proveedor de servicios esté limitado a 4.096, claramente insuficiente. Por esa razón, y con objeto de mejorar la escalabilidad de la red, se conectan múltiples dominios de nivel 2 a través de un "core" de nivel 3 con IP o MPLS. En ambos casos aparecen graves problemas de escalabilidad cuando se quieren ofrecer servicios a un gran número de usuarios.

## 5. Situación actual y perspectivas

### 5.1. Conmutador UETS en Click

Click [4][5] es un router modular software que permite implementar funcionalidad de conmutadores y enrutadores de forma flexible configurando la interconexión de elementos que implementan funciones básicas como receptores, colas, selectores, etc. Click puede utilizarse sobre Linux en modo kernel o usuario.

Actualmente se trabaja en la implementación de la funcionalidad básica de un conmutador UETS sobre Click y en pruebas básicas del tratamiento diferenciado de tráfico en situación de congestión. La funcionalidad básica UETS es de implementación sencilla en Click.

### 5.2. Otras actividades

Igualmente se estudian las adaptaciones necesarias de los *sockets* para operar sobre el nivel de enlace directamente bajo la aplicación.

En una fase ulterior se contempla la modificación de conmutadores comerciales para incorporar la funcionalidad UETS, incluyendo routers (OPENWRT) sobre S.O. Linux.

Las estrategias alternativas posibles de encaminamiento y direccionamiento son actualmente estudiadas así como la funcionalidad de los distintos conmutadores utilizables en topologías arbitrarias mediante la combinación de la conmutación opcional con switches Banyan (con arquitectura multietapa "self-routing") y el denominado micro-routing (encaminamiento clásico entre puertos unidos por enlaces que no pertenecen a la topología jerárquica). En [6] se recomienda una arquitectura combinada del tipo WDM + Ethernet nativa UETS como la descrita en este artículo.

## 6. Conclusiones

La arquitectura UETS presenta ventajas de escalabilidad, seguridad intrínseca ligada al direccionamiento vinculado al punto de conexión a la red y compatibilidad con los sistemas finales y enrutadores IP. Los dominios UETS pueden tener cualquier tamaño pero requieren que todos los conmutadores tengan capacidad UETS. Los tipos de conmutadores utilizables son diversos: tanto de tipo convencional con tablas como de tipo *banyan* sin tablas, que decodifican la dirección de destino.

Las tareas principales actualmente son la definición detallada de estrategias de direccionamiento (diversas y elegibles por el propietario de la red), protocolos opcionales de asignación automática de direcciones, e incrementar la miscibilidad de conmutadores UETS y 802.1D en las redes mediante la definición de nuevos tipos de conmutadores de funcionalidades combinadas. Igualmente la definición de un protocolo DLC específico podría ofrecer ventajas de máxima adecuación respecto a los tipos de LLC estándar actuales.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia Español a través del proyecto CAPITAL (TEC2004-05622-C04-03/TCM).

### Referencias

- [1] IEEE LAN MAN Standardization Committee. Provider Backbone Bridges. Disponible en: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ah.html>.
- [2] José Morales Barroso, "From Computer Networks to the Computer on Net", IEEE Comms Magazine / Global Communications Newsletter, octubre de 2005, pp. 2-4.
- [3] J. Morales, G. Ibáñez. "Ethernet Fabric Routing: A hierarchical, scalable and secure switching architecture. TCHSN conference. INFOCOM, abril 2006
- [4] The Click Modular Router. Disponible en: <http://www.read.cs.ucla.edu/click/>
- [5] E. Kohler, R. Morris, B. Chen, J. Jannotti, M. Kaashoek. "The Click modular router". ACM Transactions on Computer Systems, vol. 18, nº. 3, pp. 263-297, 2000.
- [6] Mohamed A. Ali, Antonios Hadjiantonis, Haidar Chamas, William Bjorkman, Stuart Elby. "On the Vision of Implementing A Truly Native Ethernet-Based Global Multi-Service Infrastructure". IEEE Infocom. IEEE INFOCOM 2006 Abril 2006 (Posters)