



## Anexo III: Artículo presentado en el Congreso 2014.

### Tecnologías Carrier-Ethernet

Daniel Biga, Fernando Dufour, Ariel Serra, Carlos Peliza

Universidad Nacional de La Matanza, Florencio Varela 1903 (B1754JEC) -- San Justo, Buenos Aires, Argentina

[infoingenieria@unlam.edu.ar](mailto:infoingenieria@unlam.edu.ar)

### Abstract

Ethernet es una tecnología originalmente diseñada para el intercambio sencillo de datos a través de red de área local (LAN) en los campus o empresas, sin embargo su éxito ha hecho que las necesidades de sus prestaciones se amplíen a áreas mucho mayores como lo son las redes MAN y WAN. La tecnología Carrier-Ethernet presenta un conjunto de protocolos estándares para poder brindar servicios Ethernet a clientes dentro de una infraestructura de gran porte, ofreciendo escalabilidad, transparencia de la información y calidad de servicio. Nuestra investigación se focaliza en el estado del arte de las tecnologías involucradas, la interoperabilidad de las mismas y el criterio para poder proporcionar los servicios Ethernet que el mercado solicita en la actualidad. Hemos analizado la opinión de los especialistas que trabajan en estas tecnologías y realizamos una prospectiva de lo que consideramos que ocurrirá en los próximos 3 años y nuestra visión de lo que en la actualidad son las mejores prácticas para su implementación.

Key words: **Carrier Ethernet, 802.1q, 802.1ad, 802.1ah, PBB y PBB-TE**

## 1. Introducción

En este trabajo se describe cómo funcionan los protocolos basados en tecnologías Ethernet para poder dar servicio a clientes (residenciales o empresas) que requieren interconectar sus sitios de forma transparente o un determinado servicio en redes de gran tamaño (Metro Ethernet). Para poder comprender cronológicamente como ha crecido la demanda y las nuevas necesidades de escalabilidad y calidad de servicio, presentaremos la evolución de los protocolos hasta el protocolo más actual estandarizado. Mostraremos como la evolución siempre contempla los escenarios legados de las redes para mantener los servicios existentes coexistiendo con los nuevos desafíos que presenta el mercado de las telecomunicaciones.

Comentaremos los resultados más significativos de las opiniones obtenidas en reuniones realizadas con especialistas del mercado involucrados en el desarrollo de estas tecnologías. En dichas reuniones, se trataron los temas relevantes asociados a Servicios Carrier-Ethernet y Redes de Telecomunicaciones. La información obtenida la hemos reflejado en diversas Tablas.

## 2. Metro Ethernet Forum

El MEF es una alianza de la industria mundial que comprende más de 220 organizaciones, incluyendo proveedores de servicios de telecomunicaciones, fabricantes de equipos de redes y/o software, vendedores de semiconductores y organizaciones de prueba. Su función es definir todos los aspectos relacionados con los servicios Carrier Ethernet, la misión es acelerar la adopción mundial de redes y servicios Ethernet Carrier-class.



El Metro Ethernet Forum (MEF) ha definido los atributos de calidad de Carrier que distinguen a "Servicios de Carrier Ethernet" de los servicios Ethernet tradicionales basados en LAN. El MEF es agnóstico respecto de las tecnologías que implementan los servicios que comentaremos en este documento. Los proveedores adoptaron las tecnologías MPLS, MPLS-TP, PBB y PBB-TE para este tipo de prestaciones por tener las características y capacidades necesarias para prestar los servicios Carrier Ethernet, estas tecnologías las explicaremos en detalle.

## 2.1. CE 1.0 – Primera versión de Carrier Ethernet

En sus comienzos (2001) el MEF se focalizó en la necesidad de impulsar la tecnología Metro Ethernet, definiendo servicios y ordenando el caos que existía en la prestación de dichos servicios. A partir de allí se focalizó en los primeros servicios Carrier Ethernet, expandiendo estos a ámbitos nacionales e internacionales.

La primera versión definida por el MEF ofrece servicios Carrier Class estandarizados en la red de un proveedor, a esta se la conoce como CE1.0 (Carrier Ethernet1.0).

A continuación se comentan los servicios CE 1.0:

### 2.1.1. Servicio E-Line

El servicio E-Line consiste en un tipo de servicio Ethernet que se basa en un *Ethernet Virtual Connection* (EVC) punto-a-punto, para interconectar dos UNIs (User–Network Interfaces)

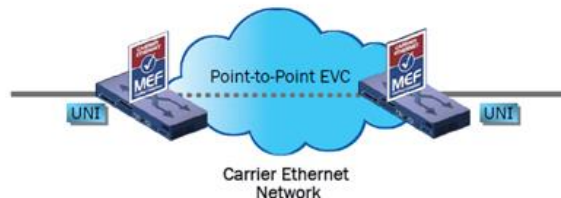


Fig. 1. Servicio E-Line

Los Servicios E-Line que se pueden ofrecer son:

- Ethernet Private Lines
  - Una sola UNI en cada extremo de red.
  - Similar a un circuito TDM.
- Virtual Private Lines
  - Una UNI se usa para múltiples conexiones virtuales.
  - Similar a Frame Relay o ATM

### 2.1.2. Servicio E-LAN

El servicio E-LAN está basado en un EVC (Ethernet Virtual Connection) multipunto a multipunto.

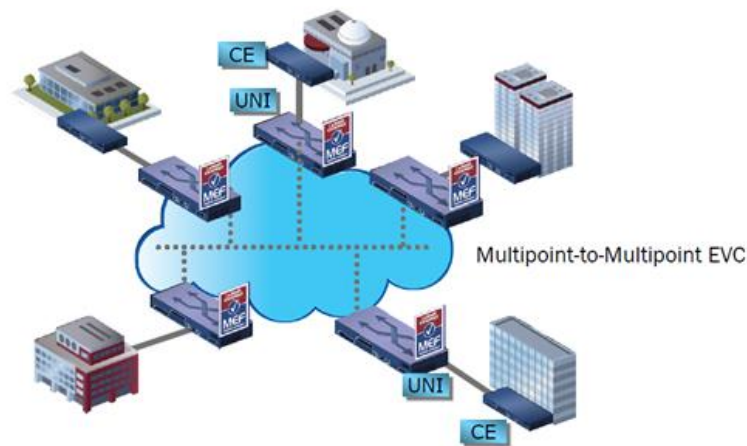


Fig. 2. Servicio E-LAN

Los Servicios E-LAN que se pueden ofrecer son:

- Multipoint L2 VPNs Multipunto.
- Servicio de LAN transparente.

### 2.1.3. Servicio E-Tree

Es un tipo de servicio que está basado en EVCs multipunto que convergen en un nodo raíz.

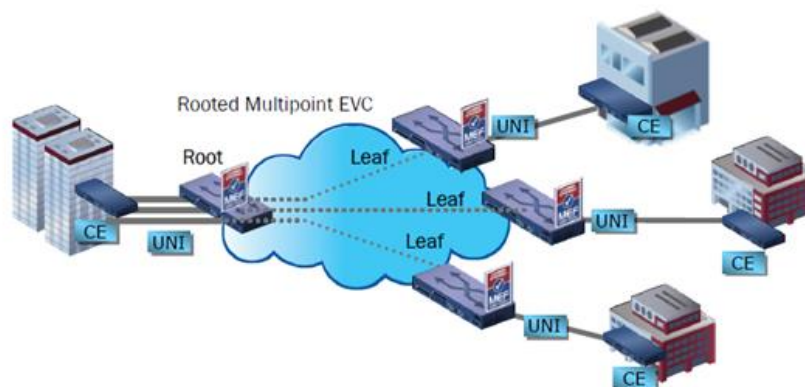


Fig. 3. Servicio E-Tree

Servicios:

- Topología punto a multipunto.

- Provee separación de tráfico entre los terminales hoja del multipunto.
  - El nodo raíz se puede comunicar con cualquier hoja.
  - Las hojas solo se pueden comunicar con el nodo raíz.

Se puede resumir los tipos de servicios CE 1.0 en el siguiente gráfico:

MEF Service	Provides
E-Line	Point-to-point EVC
E-LAN	Multipoint-to-multipoint EVC
E-Tree	Rooted Multipoint EVC

Fig. 4. Resumen Servicios CE 1.0

## 2.2. CE 2.0 – Next generation Carrier Ethernet

Mientras que CE 1.0 permitió la estandarización de redes y servicios Ethernet en el marco de una red de proveedor de servicios, Carrier Ethernet CE 2.0 (lanzado en 2012) innovó con estándares de red para proveedores de servicios, que tiene tres características diferenciales: maneja Multiple Classes of Service (Multi-CoS), e incorpora más funcionalidades de gestión e interconexión para expandir el alcance de los servicios.

Estas tres características se suman a la expansión de la cantidad de servicios soportados, que en CE 1.0 eran tres, ahora son ocho: dos por cada clase de servicio (E-Line, E-LAN, E-Tree y E-Access, las tres primeras ya estaban en CE 1.0), según están definidos por las especificaciones de MEF.

El servicio E-Access, permite a proveedores de servicios CE 2.0 minoristas ampliar su cobertura de manera más eficiente y económica mediante asociaciones con proveedores mayoristas.

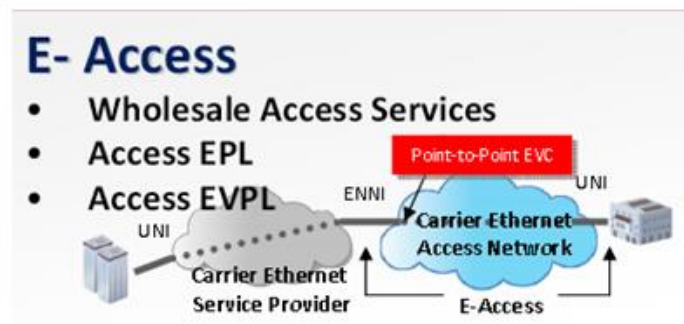




Fig. 4. Resumen Servicios CE 1.0

Con respecto a las nuevas características de MEF CE 2.0, podemos detallar:

### **Multi-CoS**

Las nuevas extensiones de Class of Service (clase de servicio), por primera vez, estandarizan los objetivos de desempeño a través de varias capas geográficas de desempeño y aplicaciones. Esto resulta en una calidad de servicios mejorada y optimiza la eficiencia, especialmente cuando se usan los cuatro servicios basados en VLAN de MEF.

### **Interconexión**

Se refiere al intercambio estandarizado de tráfico Carrier Ethernet entre proveedores y para la provisión eventual en redes de acceso, usando los tipos de servicio E-Access recientemente aprobados, mientras que se preservan los atributos del servicio. En términos simples, esto permite que los proveedores diseñen múltiples redes interconectadas como una red única desde el punto de vista del usuario (lo cual habilita la concreción de un único Service Level Agreement, entre otras ventajas).

### **Gestión**

CE 2.0 aporta nuevas funciones de gestión que estandarizan el manejo de fallas a niveles que no eran posibles en la versión anterior, para servicios provistos a través de múltiples redes.

A la fecha de creación de este paper, existen 21 proveedores de servicios certificados con 87 servicios definidos por el MEF CE 2.0 en 10 países. Además existen 31 proveedores de equipos de red con certificación CE 2.0 con más de 120 plataformas CE 2.0. La amplia disponibilidad y la creciente implantación de plataformas de redes CE 2.0 es un factor crucial del crecimiento en la certificación de servicios CE 2.0.

Durante el pasado año, el número de profesionales certificados por el MEF se ha triplicado hasta más de 1.700 en 224 organizaciones de 58 países. El 87 % de los profesionales certificados por el MEF trabaja para empresas miembros del MEF y el 62 % para proveedores de servicios.<sup>1</sup>

## **3. Tecnologías Carrier Ethernet**

### **3.1. VLAN (802.1q)**

Las VLAN (Virtual Local Area Network) son la base de las tecnologías Ethernet y por consecuencia Carrier Ethernet, las VLAN permiten separar los dominios de broadcast de nivel 2 (capa de enlace del modelo TCP/IP) incrementando el rendimiento de una red física. Una VLAN, nos brinda la posibilidad de que un administrador de red pueda crear grupos de dispositivos conectados de manera lógica, que actúan como una red independiente de otras con las cuales pueden compartir infraestructura. Para tener una trama etiquetada (802.1q), el procedimiento en el switch consiste en agregar 4 bytes luego de la dirección MAC origen de una trama Ethernet, debido a este agregado es necesario recalcular la secuencia de chequeo de trama (FCS).

Se muestra una gráfica de una trama de nivel 2 con 802.1q.

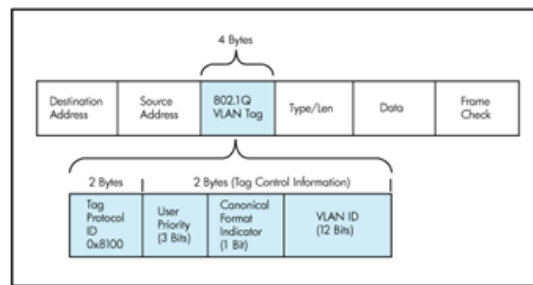


Fig. 5. Encabezado 802.1q

Dentro de la etiqueta de VLAN, se descomponen los campos que se describen a continuación:

**TPID (Tag Protocol Identifier):** Este campo indica que estamos en presencia de una trama etiquetada, se compone de los siguientes parámetros que se pueden apreciar en la gráfica. El valor en hexadecimal 8100 indica que estamos en presencia de una etiqueta 801.1q.

**PCP (Priority Code Point):** Son 3 bits que se utilizan generalmente para priorizar un tipo de tráfico por sobre otro, en conjunto con otras políticas de red permite ofrecer una calidad de servicio en la red que permite a un operador dar múltiples servicios sobre la misma infraestructura. A estos bits se los conoce como “IEEE 802.1p”.

**CFI (Canonical Format Indicator):** Este bit se utiliza para indicar si en presencia de congestión esta trama puede ser descartada o no. También se lo conoce como DEI (Drop Eligible Indicator).

**VID (Vlan Identifier):** Es el número identificatorio de la VLAN, son posibles 4096 numeraciones, aunque el número 0 no es posible utilizar.

Este protocolo permitió compartir una misma infraestructura para brindar múltiples servicios, pero rápidamente tuvo una limitante, que es la cantidad de VLANs que se pueden asignar (4094). Para solucionar este problema se desarrolló el estándar 802.1ad.

### 3.2. DOBLE TAG-SVLAN (802.1ad) – PROVIDER BRIDGE

802.1ad estandariza el uso de múltiples Tags de VLAN en los switches bridgeados, facilitando la implementación de los servicios de CE (Carrier Ethernet), por ejemplo, permite que el proveedor le ofrezca utilizar, VLANs del cliente y poder transportarlas dentro de la Red bridgeada del Carrier siendo completamente transparente para el cliente.

De similar procedimiento que el estándar 802.1q, el protocolo 802.1ad coloca una nueva etiqueta similar a la anterior pero con algunas diferencias que se comentan a continuación. El límite teórico de conexiones VLANs que se pueden configurar es de más de 16 millones de conexiones, ya que permite que las 4096 de la VLAN 802.1q combinarlas con las 4096 SVLAN 802.1ad.

Se puede ver en la gráfica a continuación donde se inserta la nueva etiqueta en la trama.



Fig. 6. Doble TAG de VLAN (802.1ad)

En las SVLAN se utiliza el valor 88a8 hexadecimal en el TPID, para diferenciar la etiqueta de VLAN.

Con este protocolo no solo se aumenta la cantidad de VLANs que se pueden transportar en una red bridgeada sino que se puede transportar tráfico de nivel 2 de clientes (es la VLAN interna y se la conoce como Customer VLAN C-VLAN “801.1q”) dentro de una etiqueta de servicio propia del operador de la red (se la conoce como Service VLAN S-VLAN “802.1ad”).

Lo comentado puede verse mejor en el siguiente diagrama:

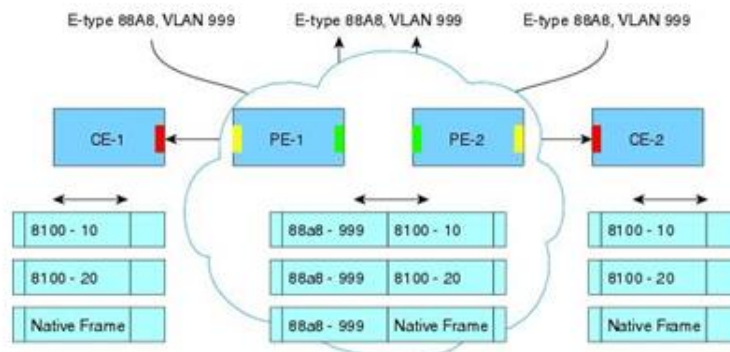


Fig. 7. Ejemplo de arquitectura (802.1ad)

El cliente CE-1 tiene tráfico Ethernet sin etiquetar, etiquetado con la VLAN-10 y también tráfico con la VLAN-20. La red del proveedor utiliza el estándar 802.1ad para poder transportar en una red de nivel 2 los datos del cliente, en este ejemplo utiliza el número 999 como S-VLAN y mantiene las etiquetas de cliente que ahora serán las C-VLAN 10, C-VLAN 20 y tráfico sin etiqueta. En el equipo del cliente CE-2 se puede ver como el proveedor retira la etiqueta de servicio (S-VLAN) y entrega al equipo de forma transparente el tráfico a destino.

Al mismo tiempo que la demanda de servicios fue creciendo, los proveedores comenzaron a sufrir problemas de escalabilidad, el principal problema fue que la cantidad de MAC ADDRESS que los equipos tienen que contener en las tablas para conmutar las tramas crecía con la cantidad de clientes, esto impacta directamente en la capacidad de memoria de los equipos y el tiempo de procesamiento que los mismos deben tener para no aumentar la latencia de la red.

Existen dos soluciones de fondo para solucionar este problema, o se escala a nivel 3 del modelo TCP/IP (habitualmente utilizando la tecnología MPLS), es decir, utilizando

protocolos de la capa de IP, o se busca un mecanismo dentro de nivel 2 que solucione el problema de las MAC ADDRESS. A esto último apuntó el estándar 802.1ah que comentamos a continuación.

### 3.3.MAC-IN-MAC (802.1ah) – PROVIDER BACKBONE BRIDGE

El concepto consiste en definir un nuevo nivel de red bridgeada que tiene sus propios componentes y que son independientes de los del cliente, ofreciendo una completa separación entre los dominios de cliente con los dominios del proveedor, para lograr este resultado, se definió una nueva cabecera Ethernet. Es entonces que encontramos en esta arquitectura una nueva estructura de tramas con MAC ADDRESS independientes de las del cliente y otros elementos que detallaremos en la descripción del header.

En los accesos, todas las PB (802.1ad) de los clientes se mapean a una instancia PBB (802.1ah) de red, definida por el proveedor de servicios. Dicha PBB encapsulará el tráfico añadiendo sus propias direcciones MAC de origen y destino, de forma que el resto de equipos de la red sólo deben conocer las MACs de los nodos de red, dejando a los equipos de borde la responsabilidad de mantener las entradas de los clientes. Así, las MACs de los usuarios finales son transparentes para los nodos de red.

Los equipos en los extremos del PBB, llamados BEB (Backbone Edge Bridge), son los que soportan toda la carga del trabajo. Al ingreso de una trama al bridge de borde de la red 802.1ah, esta se la asocia con una instancia de servicio y la encapsula en una trama, de tal forma que se caracteriza por usar un nuevo juego de MACs que se denominan Backbone MACs.

En la parte de red, el proveedor añadirá una nueva cabecera Ethernet con direcciones MAC propias de los equipos de red, de forma que dentro del Core 802.1ah (BCB – Backbone Core Bridge) sólo se manejen las MACs de los nodos de red, dejando las direcciones de clientes en el borde de la red.

En el gráfico a continuación se resume lo expresado:

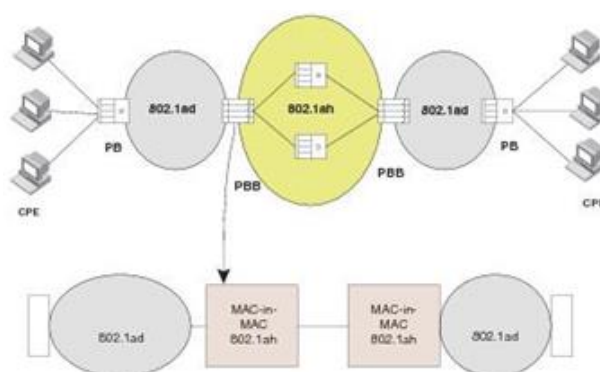


Fig. 8. Ejemplo de arquitectura (802.1ah)

Apoyado en la gráfica siguiente comentaremos los campos que el estándar 802.1ah contiene:



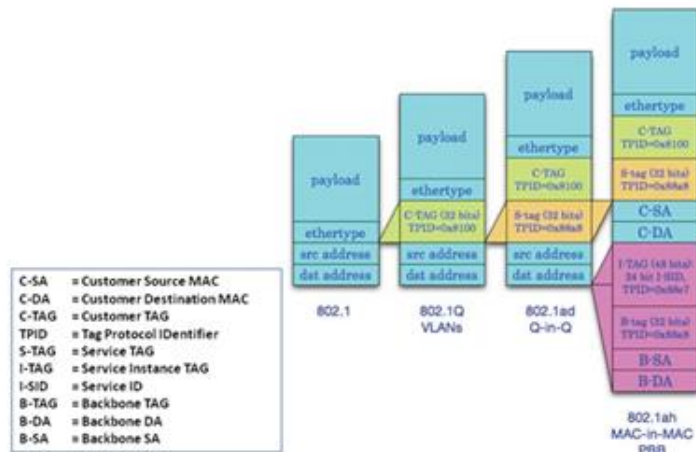


Fig. 9. Tecnologías Carrier Ethernet

Como se puede observar, en la red del proveedor de servicios modifica la trama Ethernet incorporando 22 bytes en los campos que se detallan a continuación:

**B-DA (Backbone Destination Address) 6 Bytes:** Es la MAC de destino del nodo de la red del proveedor, es este caso la red no tiene visibilidad de las MAC del cliente.

**B-SA (Backbone Source Address) 6 bytes:** Es la MAC del equipo que origina la trama 802.1ah.

**B-TAG (Backbone vlan TAG) 4 bytes:** Este campo es análogo al formato tradicional de VLAN, con el TPID (Ethertype) con el valor 88a8 en hexadecimal. El formato se completa con el PCP y CFI (DEI) y el VLAN ID.

**I-TAG (Instance service TAG) 6 bytes:** Contiene la instancia del servicio, el formato completo está compuesto por dos parámetros, un TPID (Ethertype) con valor 88e7 y el parámetro TCI (4 bytes) que podemos descomponer en sub-campos:

- PCP (3 bits)
- CFI (o DEI, 1 bit)
- Reservado (4 bits)
- I-SID (24 bits)

El sub-campo I-SID (Instance Service ID), contiene la instancia del servicio, con este valor se genera la EVC (Ethernet Virtual Circuit) y el estándar permite un total de más de 4 millones de EVCs.

Los campos detallados B-TAG e I-TAG se pueden resumir en el siguiente gráfico:

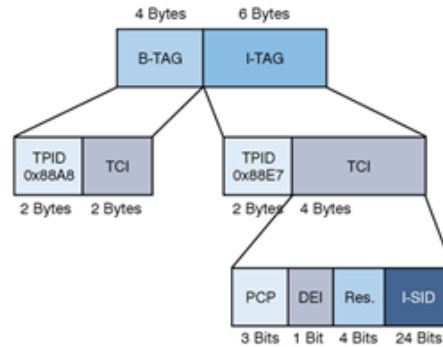


Fig. 10. Encabezados B-TAG e I-TAG

#### 4. Conclusiones

El enfoque PBB limita el alcance de la información del cliente, dirigiéndose MAC y la topología, a los bordes de la red del proveedor de servicio. El núcleo sigue centrado en las funciones básicas y dejando de lado el conocimiento de la red del cliente. Sin embargo, PBB se enfrenta a serios desafíos en la red del proveedor. Uno de ellos es que PBB carece de ingeniería de tráfico y capacidad de recuperación de nivel de operador. Por otra parte, la dependencia de PBB en el protocolo Spanning Tree múltiple (MST) o el protocolo Rapid Spanning Tree (RSTP) para evitar bucle es un serio inconveniente ya que podría tardar unos segundos en converger ante una falla en la red. Las redes de transporte a gran escala han eliminado STP (Spanning Tree Protocol) a fin de ampliar y lograr mejores tiempos de recuperación. Para sortear las limitaciones de STP, el IEEE ha desarrollado una tecnología de detección de la topología alternativa llamada Shortest Path Bridging (SPB o IEEE 802.1aq) para las redes de PB y PBB.

Esta tecnología proporciona redes lógicas en una infraestructura Ethernet nativa, usando un protocolo "link state" para anunciar tanto la topología como la pertenencia a una red lógica. Los paquetes son encapsulados MAC-in-MAC 802.1ah o marcados 802.1Q/802.1ad en el extremo de la red y transportados solamente a otro miembro de la red lógica. El tráfico unicast, multicast y broadcast está soportado y todo se encamina por el camino más corto. El plano de control está basado en "Intermediate System to Intermediate System (IS-IS)", con un pequeño número de extensiones añadidas definidas en el RFC 6329. El protocolo 802.1aq es de reciente estandarización, su análisis no está contemplado dentro del presente artículo.

#### 5. Estado del arte

El presente trabajo refleja el estado del arte de las tecnologías metrohethernet de próxima generación en la Argentina.

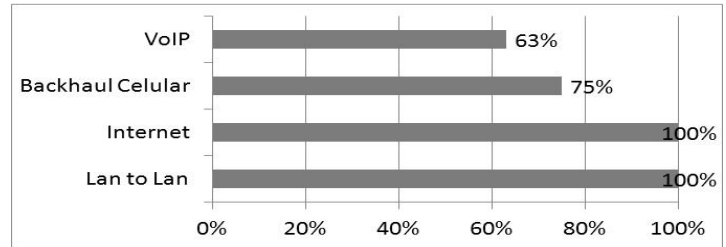
Para ello hemos tenido reuniones con especialistas de las empresas de telecomunicaciones líderes y de empresas proveedoras de equipos quienes nos aportan su visión actual y futura sobre estas tecnologías.

El relevamiento de las opiniones de especialistas y profesionales de comunicaciones nos permitieron determinar las nuevas tendencias sobre la evolución de la tecnología.

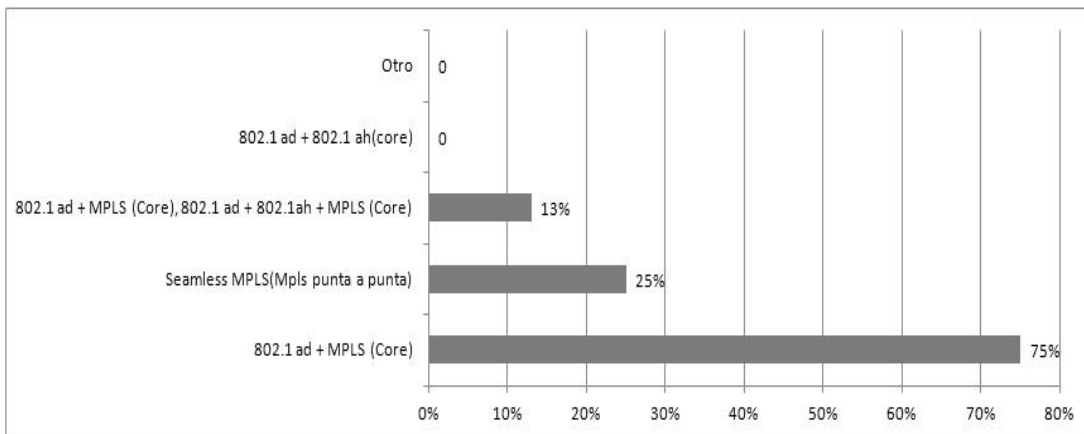


En los siguientes gráficos mostramos una parte relevante de los resultados de la investigación:

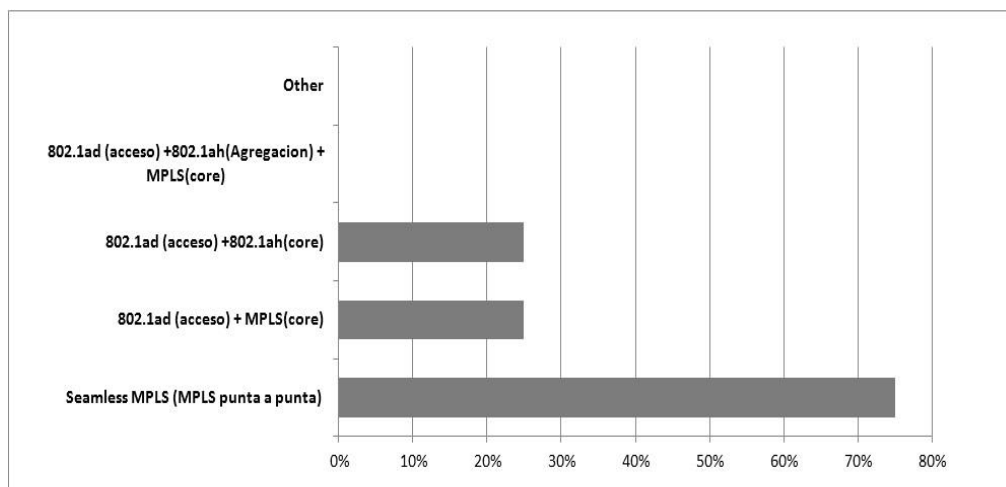
Respecto de los servicios que se transportan en las redes Metroethernet actuales, hemos obtenido los siguientes resultados:



Respecto de las soluciones tecnológicas que están siendo usadas en la actualidad, hemos obtenido los siguientes resultados:



Respecto de la forma en que se escalará la red para satisfacer el crecimiento del mercado, se han obtenido las siguientes respuestas:





## 6. Futuras líneas de investigación

La solución adecuada para cada problemática es dependiente de la dimensión de la red que hay que diseñar como así también de las prestaciones que pretendemos de ella. Por ello y dada la gran variedad de combinaciones tecnológicas posibles para dar solución en particular y la cantidad de casos posibles existentes en el mercado, hemos puesto nuestro foco en las necesidades y dimensiones del mercado Argentino.

Con esta información desarrollaremos una futura línea de investigación en la que nos focalizaremos en la determinación de las mejores prácticas y prospectiva para los próximos 3 años en el mercado Argentino.

## 7. Referencias

Michael Beck (2005). *Ethernet in the First Mile: The IEEE 802.3ah EFM Standard (Communications Engineering)*. McGraw-Hill Professional, ISBN-13: 978-0071455060 ISBN-10: 007145506X. First edition.

Sam Halabi (2003). *Metro Ethernet*. Cisco Press. Indianapolis. ISBN: 1-58705-096-X.

Monique Monrow and Azhar Sayeed. (2006). *MPLS and Next-Generation Network*. Cisco Press. Indianapolis. ISBN: 1-58720-120-8.

J. Guichard and I. Pepelnjak (2000). *MPLS and VPN Architectures*, Cisco Press. Indianapolis. ISBN: 1-58705-002-1.

Bruce S. Davie, Paul Doolan, Yakov Rekhter (May 1998). *Switching in IP Networks: IP Switching, Tag Switching, and Related Technologies*. ISBN-13: 978-1558605053 ISBN-10: 1558605053. First edition

Wei Luo, Carlos Pignataro, Dmitry Bokotey, Anthony Chan (February 2005) *Layer 2 VPN Architectures*. Cisco Press. Indianapolis. ISBN: 1-58705-168-0.

Bruce S. and Davie, Yakov Rekhter (June 2, 2000) *MPLS: Technology and Applications*. ISBN-13: 978-1558606562. ISBN-10: 1558606564. First Edition.

## 8. Definiciones

**E-LAN** - Servicio E-LAN definido por MEF utilizado para crear VPN L2 multipunto y un servicio de LAN transparente; constituye los cimientos de las redes IPTV y de multidifusión.

**E-Line** - Servicio E-Line definido por MEF utilizado para crear líneas privadas Ethernet, líneas privadas virtuales y acceso Ethernet a Internet.

**E-Tree** - Servicios de árbol privado Ethernet (EP-Tree) definido por MEF y árbol privado virtual Ethernet (EVP-Tree). Proporcionan la separación del tráfico entre usuarios, permitiendo que el tráfico de una “hoja” llegue a una de varias “raíces”, pero que nunca se transmita a otras “hojas”.

**EVC** - Circuito virtual Ethernet definido por MEF.



**802.1Q** - SPB combina una ruta de datos Ethernet (IEEE 802.1Q o puentes de red troncal de proveedor (PBB) IEEE 802.1ah) con un protocolo de control de estado de enlace IS-IS entre los puentes con rutas más cortas (enlaces NNI).

### Certificado de referencia

