

Redes IP

Pedro Flórez Miñambres

1.	Red (o mejor dicho redes) IP	3
1.1	La prehistoria de las redes IP.....	4
1.2	El nacimiento del protocolo IP de internet	8
1.3	La gestión de direcciones y nombres de dominio	9
1.4	El sistema de encaminamiento.....	10
1.5	Con el acceso masivo a internet surge la necesidad de las redes IP nacionales.....	11
1.6	Red UNO IP: primera red IP para conectar ISPs a Internet.....	12
1.7	Proyecto RIMA primera red IP a la búsqueda de los cinco nueves	14
2.	La gran crecida de datos: la optimización de redes	20
2.1	Optimización de tráfico: las caches, preludio de las CDNs, y el fenómeno P2P	22
2.2	Tráfico anómalo que ocasionaron degradaciones importantes de los servicios a los clientes: Spam, ataques con DNS, DOS y DDOS, señalización 3G	24
2.3	Los proyectos de consolidación de redes: las fuerzas centrífuga y centrípeta en acción.....	25
2.4	Conectividad, vídeo y debates de concentración y distribución.....	27
2.5	Explosión de las CDNs y su progresiva capilarización	28
2.6	Un gran proyecto para la red única	29
3.	El viaje hacia internet cuántico	31
3.1	De la red galáctica de J.C.R. Licklider (MIT) en 1962 a la red cuántica de Bennett y Brassard en 1993.....	31
3.2	La carrera de la teletransportación cuántica.....	33
3.3	Suma y sigue	33

1. Red (o mejor dicho redes) IP

La evolución de las redes hacia IP, y de sus arquitecturas, es un capítulo de la historia de Telefónica en cada uno de los países en los que opera, que tiene su origen a finales de los noventa, y continua hasta hoy. Las redes IP (Internet Protocol) se han convertido en la plataforma de transporte de tráfico de todos los servicios en estos últimos 25 años del siglo de vida de Telefónica.

En esa historia tiene un papel destacado el de la evolución de las redes IP de Telefónica, en España, por su indiscutible liderazgo en la creación y utilización de estas, apalancadas en el éxito de Internet y de la banda ancha fija y móvil. Hay que destacar, en efecto, que Telefónica de España, fue la primera operadora europea (Estados Unidos iba por delante, al ser el epicentro de Internet) en desplegar una red IP nacional de gran capilaridad y capacidad, la red RIMA, y la primera que construyó, no sin un intenso debate interno, la nueva televisión sobre cobre (IMAGENIO), utilizando una solución sobre red IP (IPTV), cuando los demás operadores lo hacían con ATM (Modo de Transferencia Asíncrono).

En Telefónica se vislumbró muy pronto que la tecnología IP iba a terminar siendo la utilizada para implantar todos los servicios: los nuevos de acceso a Internet y la nueva televisión sobre el bucle de cobre, y también los de las redes de datos de empresas y de la mismísima telefonía, que venía siendo el sustento del negocio en los primeros 75 años de vida de la empresa.

Tras una primera etapa, en la que se fueron creando redes IP separadas, dedicadas por servicio (Internet e IPTV) y por segmento (B2C/B2B), y una vez se ganó confianza en la explotación de estas (se trataba de ser capaces de minimizar los riesgos y asegurar los servicios) se dieron pasos de integración de segmentos y servicios en una misma infraestructura. A diferencia de otros operadores, que, ante el reto, crearon divisiones especializadas; en Telefónica, se entendió que el camino era transformar toda la compañía y se pusieron todos los medios de forma decisiva para lograrlo.

Todas las operaciones nacionales de Telefónica han tenido que afrontar la adopción de estas tecnologías y desarrollar proyectos de unificación de múltiples redes y de optimización de sus topologías a medida que avanzaban en el desarrollo de la banda ancha, la integración de los negocios, el empaquetamiento de ofertas y se producía la explosión en clientes y tráfico de datos (vídeo).

En general, para las operadoras del Grupo Telefónica que cuentan con la red de telefonía por acceso de cobre, su evolución ha seguido en gran medida la de las redes de Telefónica de España: Argentina, Brasil TELESP, Colombia; mientras que, las operaciones móviles, han experimentado un desarrollo de sus redes IP, posterior en el tiempo, y ligado al crecimiento eficiente de la red de voz en IP y al de la banda ancha móvil (3G-2008): O2UK, O2 Germany, VIVO en Brasil, que, como se verá, también tuvieron lugar en Telefónica en España, con una demanda de capacidad y capilaridad inferior al de las operaciones fijas.

1.1 La prehistoria de las redes IP

Antes de entrar a contar los proyectos de evolución de Redes IP en Telefónica, en España, conviene introducir brevemente el surgir de estas redes a nivel mundial, ligadas al nacimiento de Internet; así como, el proyecto líder mundial en la creación de la primera red comercial de paquetes desarrollado por Telefónica de España con Telefónica I+D.

- [Leonard Kleinrock](#) en julio de 1961 publicó el primer trabajo sobre conmutación de paquetes, como resultado de su tesis doctoral en el MIT. Fue un análisis teórico que pretendía demostrar que en una red de ordenadores, la información se puede transmitir en pequeños bloques (llamados paquetes), sin necesidad de disponer de una conexión permanente. Él fue quien convenció a *Lawrence G. Roberts* (un ingeniero también del MIT) de la viabilidad teórica de las comunicaciones utilizando paquetes en lugar de circuitos. El otro gran paso que dio fue el de lograr que los ordenadores hablaran entre ellos. Para explorar en este campo en octubre de 1965 conectó un ordenador en Massachusetts con otro en California a través de una línea telefónica de baja velocidad creando la primera, aunque pequeña, red de área extendida.



Leonard Kleinrock

Resultados de este experimento fueron la demostración de que los ordenadores de acceso múltiple (o tiempo compartido), podían trabajar bien entre ellos y de que el sistema telefónico de conmutación de circuitos era totalmente inadecuado para estos usos. Por lo que la convicción de la necesidad de conmutación de paquetes se confirmó empíricamente.

Nota Histórica:

Octubre de 1965 se realiza la primera conexión remota de dos ordenadores mediante Conmutación de Paquetes: la idea funciona!

En los años 60 los grandes ordenadores son un recurso escaso y caro y se tiende a su utilización en modo compartido en los centros de datos donde se instalan y desde ubicaciones remotas, en lo que se conoce como teleproceso. En esa optimización del uso de capacidad de proceso desde ubicaciones remotas es cuando se plantea la necesidad de conexión de ordenadores. Las primeras experiencias de transmisión de datos entre ordenadores se remontan a la primera parte de la década. Se utilizaban equipos de modulación y demodulación de señales (módems) y enlaces de telefonía (circuitos de voz).

La utilización de enlaces vía circuitos de telefonía y enlaces punto a punto digitales presentaban varias limitaciones:

- 1.- La velocidad y calidad de estos medios era bajas en el panorama de crecimiento de este tipo de comunicaciones.
- 2.- El coste, sobre todo para las líneas dedicadas, de mejor calidad, era prohibitivo en los casos en los que había un número elevado de terminales remotos accediendo a un sistema central.
- 3.- El tráfico de datos es distinto al de voz. El primero se produce a ráfagas con intervalos de silencio, mientras el segundo es continuo y en secuencia síncrona. El uso de los sistemas de voz para transmitir datos supone un desperdicio de recursos en estos sistemas.

Ante esta situación se plantean iniciativas, en dos entornos distintos, encaminadas a resolver dichas limitaciones:

En el **entorno no comercial**¹ (académico y militar) surge la ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) que posteriormente terminará configurando la red pública de datos mundial: Internet. ARPANET se basaba en utilizar ordenadores como nodos de conmutación, y en fragmentar la información en paquetes de datos que se envían a través de la red por diversos caminos y posteriormente son puestos en orden y reagrupados en el nodo destino. Este esquema permitía optimizar y flexibilizar el uso de la red para los patrones de tráfico de las comunicaciones de datos.

En 1968 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) sobre una lista de especificaciones de requisitos lanzó una petición de ofertas a proveedores para desarrollar el elemento clave, el conmutador de paquetes.

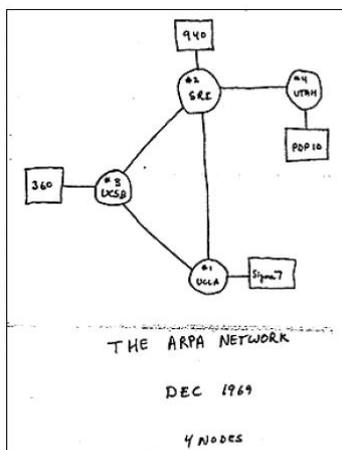


Equipo BBN con el IMP



Primera Versión IMP

Ganó la empresa estadounidense BB& Newman) con el IMP (Interface Message Processor).



Esquema 4 nodos de ARPA, Dic 1969

El primer conmutador de paquetes, el IMP, se instaló en UCLA (Universidad de California Los Angeles) el 2 de septiembre de 1969. En esta universidad se instaló un segundo nodo y se creó el NIC (Network Information Center) en el que se mantenían manualmente las tablas que relacionaban los nombres de los ordenadores con sus direcciones de red.

Poco después, se incorporaron nodos adicionales en la UCSB (Universidad de California Santa Barbara) y en la de Utah. A finales de 1969 había ya 4 ordenadores centrales conectados a la red ARPANET inicial.

La cantidad de dispositivos conectados a Internet alcanzó los 22 mil millones en todo el mundo a fines de 2018, según la última investigación de Strategy Analytics.

El protocolo inicial de comunicaciones en esta red fue el NCP (Network Control Protocol) en el que se identificaron pronto limitaciones de calado:

- No permitía mantener la comunicación frente a interferencias (en medio de transmisión basados en radio) o cortes.

¹ Imágenes, recuadros y extracto de contenidos de: La pre-historia de la Red. Tesis Doctoral. Andreu Veà Baró- Mayo 2022.

- No permitía realizar corrección de errores en la comunicación; de modo que, si había pérdida de paquetes se paraba (“colgaba”).
- No permitía direccionar máquinas fuera de la red ARPANET y había otras dos redes en este entorno que se querían interconectar a ARPANET: PRNET (red basada en radio) y SATNET (red basada en Satélite).
- No se podía modificar.

Estas limitaciones impulsaron la decisión de desarrollar un nuevo protocolo para resolverlas, el protocolo IP, cuya génesis se resume más adelante.

En el **entorno comercial**² en la década de los sesenta comienzan a proliferar las redes privadas de datos basadas en protocolos específicos de los fabricantes de equipos y orientadas a necesidades concretas.

Las empresas tenían redes de comunicaciones para conectar sus sistemas informáticos de IT, conexiones entre los equipos Mainframe, en los Centros de Proceso de Datos, y los terminales de acceso a los mismos distribuidos en oficinas a nivel nacional e incluso internacional. Por mencionar las más implantadas: SNA de IBM, DEC-NET de la antigua Digital, XNS de Xerox, etc. Estas redes privadas inicialmente se conectaban entre ubicaciones a cientos de kilómetros utilizando circuitos dedicados, hasta que aparecieron las primeras redes públicas de datos gestionadas por los operadores de Telecomunicaciones para responder de forma óptima a dicha necesidad.



Figura 3-1: Acto de inauguración de la RETD.

Fuente: "25 Años de la Transmisión de Datos" [Rodríguez et al., 98]

El 30 de Julio de 1971, con la inauguración en la central madrileña de Velázquez, de Telefónica de España, se puso en funcionamiento la primera red comercial de datos del mundo basada en conmutación de paquetes, que se construyó fundamentalmente para responder a la demanda de conexión de los sistemas informáticos de los bancos españoles.

Otras telecos en Europa y Estados Unidos optaron por utilizar conmutadores de circuitos y se vieron rezagadas en la adopción de estas tecnologías.

La red de Telefónica se bautizó como RETD (Red Especial de Transmisión de Datos). Utilizó inicialmente para los nodos de conmutación de paquetes ordenadores UNIVAC

² Imágenes e información histórica extraídas de: “El desarrollo de la red IP pública de datos en España (1971-1991): un caso de avance tecnológico en condiciones adversas”. Jorge Infante. Profesor Esc. de Telecom. Universidad Pompeu Fabra.

418 III y protocolos RSAN desarrollados por Telefónica I+D e inspirados en los trabajos de ARPANET. Posteriormente, se creó en la ITU (Unión Internacional de las Telecomunicaciones) el protocolo x.25 estándar (x.75 para interconexiones internacionales) para estas comunicaciones. Con su adopción, la RETD pasó a llamarse IBERPAC.

	RED DE CONMUTACIÓN DE PAQUETES	AÑO DE ENTRADA EN SERVICIO	RED DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS
España	RETD/RSAN	1972	NO
	IBERPAC X.25	1985	NO
Alemania	DATEX-P	1981	DATEX-L
Austria	DATEX-P	1983	DATEX-L
Bélgica	DCS	1982	NO
Dinamarca	DATAPAK	1984	DATEX
Finlandia	DATAPAK	1984	DATEX
Francia	TRANSPAC	1978	CADUCEE
Holanda	DN-1	1981	NO
Irlanda	EIRPAC	1984	NO
Italia	ITAPAC	1985	RFD
Luxemburgo	LUXPAC	1983	NO
Noruega	DATAPAK	1984	NPDN
Portugal	TELEPAC	1984	NO
Reino Unido	PSS	1981	NO
Suecia	DATAPAK	1985	NPDN
Suiza	TELEPAC	1983	NO
EEUU	TYMNET/TELENET	1975	Sin Datos
Canadá	GLOBEDAT	1977	Sin Datos

Tabla 1: Fechas de puesta en funcionamiento de redes de conmutación de datos en el mundo. Fuente: Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones, 1987 [MITC, 87].

La RETD tuvo un éxito importante, con un crecimiento espectacular en número de conexiones los primeros años de funcionamiento, al acoger a la gran mayoría de bancos españoles y otras instituciones que hacían uso de sistemas de teleproceso y tiempo real.

Es también una referencia histórica, el hecho de que, en aquella época, en torno a 1978, Telefónica I+D junto a SECOINSA diseñó y construyó un nodo de conmutación de paquetes para la RETD, el equipo conocido como TESYS, que no se consolidó, entre otras cosas, por sus carencias para poder llevarlo al mercado mundial como un producto comercial.

La siguiente evolución de la red de datos para empresas se bautizó como Red UNO (1990-2015) y se construyó con nodos Passport de Nortel. Utilizaba las tecnologías FR (Frame Relay), una mejora del X.25 y ATM (Asynchronous Traffic Mode) ambos en el paraguas de estandarización de la ITU. El ATM era un protocolo que se concibió, como el IP, para ser capaz de transportar voz, video y datos de forma óptima, pero a diferencia del protocolo IP mantuvo la característica de definir caminos fijos para todo el flujo de una comunicación, como en la telefonía.

En este entorno de empresas y con el inicio de Internet en España se creó la Red UNO IP para dar acceso a Internet a los ISPs que surgieron con Infovia e Infovia+. Como recuerda Javier González Vela en su artículo “Veinticinco años de Internet en Telefónica”:

“La primera salida hacia Internet (y durante varios meses, única) fue una conexión Frame Relay con un DLCI de 256 Kb con Tipnet, la red de la operadora sueca Telia, a través de una línea que pasaba por Zurich. En aquella época Telefónica estaba en un consorcio formado por Swiss Telecom, Telia y KPN, en lo que no mucho después se constituyó como Unisource (y en la que se integraría la nueva filial Telefónica Transmisión de Datos TTD, que había nacido en noviembre de 1995). Creo que fue en octubre cuando le dimos ya más seguridad a la salida a Internet,

constituyendo el primer circuito punto a punto de 2 Mb de capacidad con Estados Unidos, con AlterNet, que tenía el Sistema Autónomo número 701 (AS701)”.

Más adelante, en los años 1999 a 2000, dentro de Telefónica Data en España, se definió y construyó una red IP/MPLS, la red llamada inicialmente NURIA, y que más tarde se rebautizó como la red RUMBA, para ofrecer las redes privadas virtuales de datos de empresas con el standard VPN IP (MPLS) y atender accesos de banda ancha xDSL y servicio de acceso a Internet.

1.2 El nacimiento del protocolo IP de internet³

El protocolo IP, ya mencionado, surgió en ARPANET para resolver las limitaciones del protocolo NCP y para conseguir el objetivo de interconectar redes de datos. Comenzó a desarrollarse en la primavera del año 1973 por Vinton Cerf (Universidad de Stanford) y Robert Khan (BBN, ARPANET,) que en septiembre de ese año presentaron en el INWG (International Networking Group), celebrado en la Universidad inglesa de Sussex, las ideas básicas para el nuevo protocolo.

Esas ideas se plasmaron más tarde en el artículo histórico “A protocol for packet network interconnection”, publicado en mayo de 1974 por ambos. Describía un protocolo llamado TCP (Transport Control Protocol), que proveía todos los servicios de transporte y reenvío de paquetes en una red.

Una idea muy simple llevaría a un resultado inimaginable:

Supongamos que cada ordenador conectado a una red, tiene una dirección bien definida (un número que hoy conocemos como Dirección IP). Si queremos transmitir información desde un ordenador en una red a otro que está en otra, lo único que tenemos que hacer es dividir la información en pequeños trozos o paquetes. A cada paquete se le añade la dirección del destinatario y del emisor, se le asigna un número de paquete y se entrega al sistema para que lo haga llegar. Es exactamente como un sencillo sistema postal, con la única diferencia que tanto los usuarios como los carteros, son ordenadores y por tanto pueden realizar el proceso miles de millones de veces más rápido. Esta es la sencilla idea que subyace en el protocolo TCP de Cerf y Khan.

Las pruebas con las primeras implantaciones del protocolo resultaron ideales para la transferencia de ficheros de datos; sin embargo, a la hora de transmitir voz en paquetes (“paquetizada”) se puso de manifiesto que las pérdidas de paquetes no debían ser corregidas por el protocolo TCP, por el retraso que introducía en una comunicación que debía de ser síncrona, sino que debía ser la aplicación de “voz sobre IP” la que corrigiese dichas pérdidas.

³ Nota 1 aplica también a este sub-apartado.

Los inventores, para resolver esta limitación, reorganizaron el protocolo en dos, el protocolo TCP sobre IP, que brindaba la corrección de errores en las comunicaciones y el protocolo UDP sobre IP, que sólo hacía uso del protocolo IP, dedicado al direccionamiento correcto de los paquetes, sin la corrección de errores, que quedaban al cargo de las aplicaciones que hacían uso de la red.

Un Concepto Clave:

Internet NO fue diseñado para una aplicación específica, sino como una infraestructura sobre la que poder desarrollar nuevas aplicaciones. Así vemos como el WWW no aparece hasta casi un cuarto de siglo más tarde, o aplicaciones como el Chat en tiempo real (ICQ) o el intercambio de música entre dos programas clientes, guiados por un servidor (Napster). Esto es así, gracias a la naturaleza de propósito generalista con que fueron diseñados los servicios proporcionados por los protocolos TCP e IP respectivamente.

Crearon así, una plataforma básica abierta de comunicación de voz, video y datos, que mediante interconexión de redes y un direccionamiento universal, abarca todo el planeta; y sobre la que, se fueron creando y se siguen creando aplicaciones de toda tipo y naturaleza, que han constituido el éxito de Internet y de las redes IP hasta la actualidad.

Ni los mismos creadores del protocolo fueron capaces de imaginar el crecimiento de redes interconectadas y de ordenadores, y más tarde otros dispositivos, que se iban a conectar a Internet. Es por ello, que el número máximo de equipos conectables quedó limitado a los que proporcionan los 32 bits que se asignaron para la etiqueta de la dirección IPv4 (2 EXP (32)); y que fuese necesario crear en 1998, una nueva versión del protocolo IP, el IPv6, en el que la numeración para direccionamiento universal se extendió a 128 bit (2 EXP (128)).

La implantación y generalización de IPv6 es un reto en el que aún se sigue trabajando en todo el mundo y es que no es fácil, y es muy oneroso, el reemplazar las redes IPv4 por las IPv6.

1.3 La gestión de direcciones y nombres de dominio⁴

A medida que Internet fue creciendo se empezó a asignar nombres a los dispositivos que se conectaban, en lugar de denominarlos por la dirección numérica IP que los identificaba en la red a efectos de encaminamiento de los paquetes. Esto es análogo a lo que ocurría en las redes de telefonía, donde existían las Guías que identificaban a los usuarios o negocios para los distintos números de teléfono. Por ejemplo, para acceder a los contenidos de la página de Telefónica S.A. los usuarios utilizan

⁴ Nota 1 aplica también a este sub-apartado.

www.telefónica.com sin tener que conocer las direcciones IP de los ordenadores que los sirven.

Al principio se creó una tabla simple, donde se reflejaban todas las máquinas con sus nombres y direcciones asociadas, que se guardaban en un fichero “host.txt”, que se podía acceder de forma universal para disponer de una guía actualizada. La gestión de este fichero la realizaban unos voluntarios en el centro de información de red (NIC- Network Information Center) en Menlo Park (California)

El crecimiento espectacular en el número de redes gestionadas independientemente y; por consiguiente, del número de máquinas y direcciones IP públicas, llevó al desarrollo de un sistema que permitiese realizar el trabajo de actualización y consulta constante de nombres y direcciones, de forma distribuida. Ese sistema, que se conoce como **DNS (Sistema de Nombres de Dominio)**, permite por consulta estándar resolver las direcciones IP para máquinas nombradas siguiendo una nomenclatura jerarquizada. Se utiliza el termino domino, asociado a agrupaciones de máquinas que lo utilizan, habitualmente dentro de una misma entidad, empresa y organización.

Nota Histórica:

Paul Mockapetris del Instituto de Ciencias de la Información (ISI) de la Universidad Southern California (USC), desarrolla el Sistema de Nombres de Dominios: DNS. Documentándolo por primera vez en Noviembre de 1983.

La gestión del sistema DNS, del espacio de nombres de dominio, y la asignación de direcciones IP públicas se ha ido adaptando con la universalización de Internet y en la actualidad las redes nacionales disponen de servidores DNS para resolver en local el espacio de direcciones conectadas a las mismas.

1.4 El sistema de encaminamiento

Los conmutadores de paquetes, conocidos como “routers”, encaminan los paquetes en función de la dirección IP a la que van dirigidos. Utilizan tablas dinámicas de encaminamientos, y protocolos de actualización de estas, en función de las variaciones en la topología de la red y los caminos disponibles.

Al aumentar el número de redes interconectadas y el número total de ordenadores conectados, las tablas de encaminamiento de los routers fueron creciendo, y las actualizaciones de estas, por reconfiguraciones en las redes interconectadas, se hicieron tan frecuentes, que daban lugar a un sistema inestable.

Para resolver este problema, crítico para el crecimiento de Internet, se creó un sistema jerárquico para el encaminamiento. Para ello, las distintas redes, típicamente de ámbito nacional y gestionadas por un mismo operador, se constituían en sistemas autónomos, y dentro de las mismas, el encaminamiento se resolvía con un protocolo como el original (IGP- Internal Gateway Protocol), que se ocupaba del encaminamiento local desde y hacia los dispositivos conectados a las mismas.

Para las comunicaciones entre dispositivos ubicados en distintas redes, o sistemas autónomos, se creó el protocolo BGP (Border Gateway Protocol), que lo hablan las redes al interconectarse entre ellas, y que permite conocer los caminos disponibles en base a rangos o agregaciones de direcciones accesibles en o a través de cada red.

Así, cuando un dispositivo de una red o sistema autónomo se comunica con otro ubicado en otra red externa, ya que no se dispone de camino dentro de la red origen (por el IGP), se busca la salida a través de alguna de las redes interconectadas, que sí ofrece camino para alcanzar el destino deseado (por el BGP).

Las tablas de destinos (o tablas de rutas) tienen de esta forma un tamaño más reducido y las reconfiguraciones en las distintas redes se convierten en variaciones internas, o fenómenos locales en el encaminamiento, que, en la gran mayoría de los casos, no afectan al resto de redes de Internet.

1.5 Con el acceso masivo a internet surge la necesidad de las redes IP nacionales⁵

En el periodo de 1995 al año 2001 se creó y se desarrolló, bajo tutela regulatoria, el acceso a Internet de banda estrecha en España. Desde el ordenador de casa y haciendo una llamada vía modem, con velocidad en torno a los 33 kbit/s, se accedía, utilizando la red telefónica de circuitos, a los ISP (Internet Service Providers), que contaban con la interconexión de sus routers IP a la red internacional Internet.

Telefónica de España como proveedor “incumbent” de la red telefónica estaba obligado a dar esos accesos, primero con Infovía y más tarde con Infovia+, que abrió la posibilidad de acceder por redes de proveedores alternativos de telefonía.

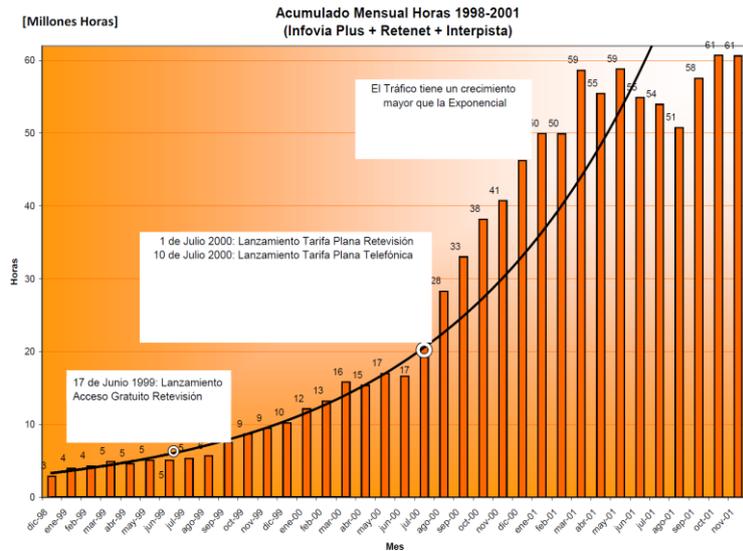
Como ya se ha comentado, la red de circuitos no era ni por capacidad/calidad ni por lo que representaba en ocupación de circuitos y adecuación al transporte de datos, ni en definitiva por coste, la red adecuada para las comunicaciones de Internet. Supuso; sin embargo, una forma rápida de popularizar el acceso a Internet, ya que lo facilitaba en cada rincón del país con acceso telefónico.

La siguiente figura muestra el tráfico en millones de horas de conexión, desde enero de 1999 hasta noviembre de 2001, cursados por las redes de telefonía de Telefonica de España (Infovía Plus), Retevision (Retenet) y BT (InerPista).

⁵ Los siguientes apartados proceden del libro: Crónicas y Testimonios de las Telecomunicaciones Españolas” (2005-2020) Volumen 3 con la edición del periodo de la banda estrecha (1990-2000) y algunas modificaciones de original.

Las redes de Retevisión y BT utilizaban en acceso la red de Telefónica, a la que se interconectaban con precios regulados.

En la competencia por los clientes, se evolucionó a modelos de acceso telefónico gratuito y con tarifas planas, de modo que, en 1998, se registraban ya más de un 1 millón 200 mil internautas.



Teleline primero y Terra después fueron los ISPs de Telefónica en España. El último, famoso por la adquisición de Lycos y su posterior salida a bolsa, que terminó con la conocida como crisis de las .com, y su retirada posterior del mercado de valores por Telefónica.

1.6 Red UNO IP: primera red IP para conectar ISPs a Internet

La interconexión de los ISPs a Internet, como ya se ha mencionado, comenzó a ofrecerla Telefónica Transmisión de Datos, en su red UNO IP, con un despliegue sin mucha huella ni capacidad, centrado en Madrid. Sin embargo, para el acceso masivo de Infovia e Infovia Plus fue Telefónica de España la que asumió la gestión de la red IP internacional. Telefónica de España contaba ya con cables submarinos trasatlánticos (Columbus), que eran y siguen siendo un factor clave en el entorno de interconexión internacional de Internet. Nació así la red IP Flexnet, con una conexión de 34 Mb, en Alcobendas, en aquel momento una grandísima capacidad, y un sistema autónomo propio: el AS6813.

Sobre este éxito de Internet en España, reflejo del que se estaba produciendo en todo el mundo, se creó y reguló en el año 1999 un modelo de acceso a Internet con ADSL sobre el par de cobre telefónico. Al utilizar el espectro del cobre por encima del utilizado por la voz, el par de acceso se podía utilizar para dar voz y datos de forma simultánea sin interrupciones. Con esta regulación, se abrió el camino para el desarrollo de la banda ancha sobre cobre, alternativo al que ya habían iniciado los operadores de cable con sus redes regionales de cable coaxial hasta el hogar.

Para que dicho acceso sobre cobre pudiese ser ofrecido en competencia, se habilitó un modelo de alquiler del bucle con transporte incluido hasta 109 demarcaciones nacionales, que el regulador definió con la industria, con precio regulado.

Desde las centrales con ADSL hasta la entrega en las 109 demarcaciones se llevaba el tráfico de datos de cada bucle de abonado, transportado en circuitos ATM primero, y canales Ethernet más tarde, para ser entregados al Operador oferente. Esto, supuso la construcción de las redes conocidas como redes de agregación metropolitanas.

Como ya se ha comentado; inicialmente, ese tramo se construyó sobre ATM, tecnología orientada a circuitos, que se veía, como previamente se había visto el RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), como la red multiservicio de banda ancha para absorber todos los tráficos. GigADSL, como se llamó a estas redes disjuntas, transportaba tráfico de acceso a Internet.

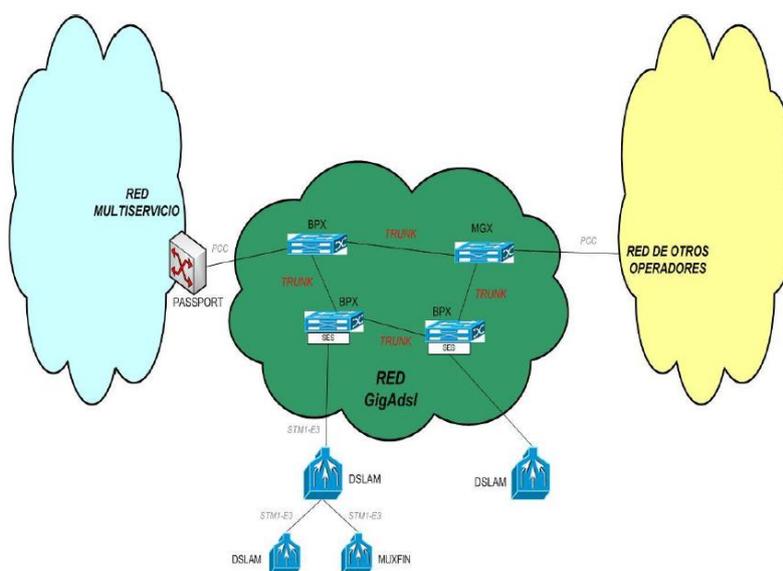


Fig.: Red de agregación ATM de Telefónica de España. Acceso indirecto al bucle. Fuente J Ruiz.

Los circuitos ATM conmutados (PVCs) llevaban el tráfico desde los accesos de cliente a los puntos de entrega de cada operador (PCC). La red GigAdsl se construyó inicialmente con nodos de la compañía estadounidense GDC, que fue adquirida por Cisco. En el siguiente paso, se introdujeron los nodos MGX de Lucent Technologies, capaces de interoperar con los GDC y con mucha mayor capacidad de conmutación.

Pronto esas redes tuvieron que ser substituidas por redes de paquetes, en ese tramo basadas en Ethernet, haciendo uso de las VLAN(s) (Virtual Logical Area Networks) para “emular circuitos” y así separar tráficos de operadores y de servicios.

Los costes mucho más competitivos, y sobre todo las capacidades de agregar tráfico, llevaron a que se produjese esta evolución, fomentada también desde la regulación que definió el acceso indirecto xDSL, por volumen de tráfico, a entregar en interfaces GE y 10 GE. Telefónica construyó su red Alejandra en esta transformación. Fue curioso ver a la industria elucubrar sobre el porqué de este nombre. El poner nombres en nuestro sector es un arte. En este caso estaba claro: A de Alcatel, L de Lucent, E de Ericsson, J de Juniper y teniendo ALEJ pues lo normal es completarlo: ALEJANDRA. Años más

tarde esta explicación se daba por parte de un GOA de Telefónica (increíbles sus conocimientos y capacidades, los GEO de Telefónica) en una de sus visitas. Se quedó sorprendido cuando recibió una explicación mucho más sencilla, como suelen ser las cosas: era el nombre de una niña preciosa que hoy está formándose como Psiquiatra en Motril

Sobre la red Alejandra se agregaron los tráficos de los accesos a Internet, de los accesos a IMAGENIO y de los accesos mayoristas regulados.

Las velocidades de acceso ADSL reguladas en sentido red usuario fueron de **256 Kbit/s, 512 kbit/s y 2 Mbit/s** y en sentido usuario a red de **128 kbit/s** para las dos primeras y **300 kbit/s** para la tercera

Se identificó entonces que, para este servicio de acceso a Internet minorista, teniendo en cuenta el volumen de internautas que se había producido con la banda estrecha, y el aumento de tráfico que iba a suponer el ADSL, era necesario crear una red IP nacional distribuida de gran capacidad que se conectase a Internet vía las salidas internacionales de Telefónica.

En el ámbito de los servicios de datos para empresas, el ADSL suponía también una revolución en cuanto a capacidad de acceso y capilaridad, respecto al que se tenía en IBERPAC, con accesos basados en circuitos digitales con velocidades de $n \times 64$ kbit/s (hasta 2 Mbit/s máximo). La red adecuada para ofrecer estos servicios era una red IP de ámbito nacional con implantación de los estándares de RVPs (Redes Privadas Virtuales) sobre MPLS (Multi-Protocol Label Switching), que como ya se ha mencionado fue construida por Telefonica Data, la red NURIA.

1.7 Proyecto RIMA primera red IP a la búsqueda de los cinco nueves

La regulación del acceso indirecto al par de cobre de la red de Telefónica de España (TdE) con tecnología ADSL, en el año 1999, cambió el rumbo y la dinámica de una empresa que llevaba desde sus orígenes centrada en el negocio de la telefonía fija, la cual parecía entrar en declive en la última década del siglo XX. El negocio de internet de banda estrecha y los contenidos de Internet estaba centrado en Terra. Los datos de empresas eran cosa de Telefónica Data. Todas estas compañías eran nuevas, con plantillas ajustadas y una cuidada selección de talento.

Por razones históricas, TdE, al igual que el resto de Telcos importantes en todo el mundo, tenía entonces una abultada plantilla, como consecuencia de que el negocio de la telefonía fija era, sobre todo en el bucle de acceso, tremendamente intensiva en mano de obra (altas, bajas y modificaciones de servicios, además de las intervenciones por averías y vandalismos), y por aquel entonces la implantación de las compañías especializadas en planta externa estaba en sus inicios. El negocio de la telefonía fija, en configuraciones de monopolio o casi monopolio, había sido un muy buen negocio durante más de medio siglo; de hecho, las compañías telefónicas estaban consideradas entre las empresas más sólidas y estables en todos los países. La liberalización del mercado de la telefonía fija (tal como se llevó a cabo en España), sumado a la

masificación de la telefonía móvil, y a los servicios basados en Internet, marcaba el final de una época histórica y era necesario abrir nuevos horizontes

El ADSL, y la decisión estratégica de implementar una nueva infraestructura IP, a gran escala y como soporte de todos los servicios, fue el principio de una etapa nueva para TdE. Esa nueva red IP (RIMA), pensada inicialmente para soportar accesos masivos de ADSL a 256 kbps, ha ido evolucionando hasta nuestros días, con soporte de accesos minoristas y mayoristas de fibra óptica, voz y video sobre IP, y conectividad de banda ancha móvil (3G/4G/5G).

En aquella etapa de finales de los noventa, como se ha ido viendo hasta aquí, el conocimiento y la responsabilidad de las redes IP estaba en Telefónica Data. Tras un debate estratégico, en el que Telefónica identifica que las tecnologías IP de Internet iban a soportar todos los tráficos; como así ha sido, se decidió que la oferta de acceso a Internet, minorista y mayorista, de Telefónica, era cosa de Telefónica de España, buscando además conseguir máxima eficacia en la provisión de estos nuevos servicios, desde el acceso y la agregación, hasta la salida de interconexión a Internet.

Telefónica Data quedaba especializada en la oferta de servicios de datos para empresas. Desde que se tomó la decisión, Telefónica Data asumió y realizó una transferencia de responsabilidades hacia Telefónica de España, que es una referencia de comportamiento ejemplar, en la historia de Telefónica.

Una nueva red IP, desarrollada en la organización que venía siendo responsable de la telefonía, se diseñó, como no podía ser de otra forma, con un objetivo de calidad de 99,999. Evitar las pérdidas de servicio o indisponibilidades estaban en el ADN de la Telefónica de España a todos los niveles. Eso de que las redes IP son “Best Effort”, que lo son, no encajaba mucho con esa cultura y forma de entender los servicios tradicionales. Un ejemplo, siempre comentado, el de la disponibilidad del servicio telefónico ante cortes de la electricidad en los hogares y empresas. Eso hizo que se primase en el diseño la seguridad de la red. Para evitar pérdidas de servicio: se utilizaron equipos de conmutación redundados, en reparto de carga, y enlaces o caminos IP redundantes, y también se redundaban los circuitos de transmisión que transportaban esos enlaces.

Hay que decir que la calidad de la red que se construyó fue muy cercana a esos cinco nueves; aunque, como se verá más adelante hubo caídas y navegación lenta, que en alguno caso afectaron a todo el país, aunque no fueron de mucha duración. También, con el paso del tiempo, ha habido un cambio de cultura hacia la aceptación, no queda otro remedio, de las indisponibilidades en el ámbito de las comunicaciones que ha traído Internet.

El arranque (diciembre, 2000) del nuevo proyecto de Red IP (RIMA) tuvo lugar en Buitrago de Lozoya, en las instalaciones donde aún hoy se pueden ver las antenas parabólicas que en su día conectaban por satélite a España con el Mundo. En la misma, se reunieron los mejores expertos de red IP de Telefónica Data, y la organización de Infraestructuras de Telefónica de España. De la misma, salió un plan para crear una

nueva red IP y migrar todos los accesos de banda estrecha y primeros ADSLs, que se transportaban en las redes IP de Telefónica Data. Los objetivos, tener construida la nueva red con sus sistemas de provisión y gestión y los accesos operativos sobre la misma en 8 meses, y desde ese hito, alcanzar 1 Millón de accesos ADSL en un año.

Con la colaboración de Telefónica Data, Cisco, Telefónica I+D, y HP, se creó una estructura de gestión por proyectos y subproyectos, con su comité semanal, que desde el inicio optó por crear una maqueta extremo a extremo de la red IP y de sus sistemas de gestión, conectada a las maquetas de acceso ADSL, y dotada de salida a Internet, que permitiese definir y probar todos los aspectos de red y gestión, incluidas las migraciones del despliegue real que había que hacer en planta. Como se hiciese con NURIA, esta nueva red IP-MPLS de TdE (RIMA) surgía como una red 100% Cisco, en la parte de red, simplificando en esta fase la necesidad de resolver la interoperabilidad entre equipos de múltiples fabricantes.

La maqueta se construyó en el conocido como edificio de Tecnología de Telefónica de España, en la Calle Emilio Vargas de Madrid, interconectada a otras maquetas de acceso y servicios, lo que permitió recrear extremo a extremo el funcionamiento individual y del conjunto, previo a su despliegue real.

Este tipo de entornos son fundamentales en un gran operador que trabaja con entorno multi-fabricante porque:

- Es terreno neutral. En ningún otro sitio aceptarían coubicar sus equipos y técnicos con tanta naturalidad
- Es la mejor formación posible para los profesionales del Operador (y también del fabricante). Aquí se estresan los equipos y se conocen sus límites reales (lejos de los panfletos de Marketing) en servicio y operación
- Aquí se identifican fallos HW/SW que de haberse detectado en campo hubiese dado lugar a problemas con lo más valioso: los clientes.

Cuando los responsables de Tecnología y Planificación formalizaban una certificación de equipo, de arquitectura, de procedimiento de despliegue o de migración, se disparaba el proceso de Construcción de Red bajo la responsabilidad de las áreas de I+M (Instalación y Mantenimiento en casa de cliente), Creación de Red, y O+M (Operación y Mantenimiento) que podían dar de alta miles de clientes en una semana. Si algo fallaba, eran miles de clientes insatisfechos.

La red bautizada como red RIMA (Red Interactiva Multimedia Abierta), que también dio nombre al proyecto, se concibió en estructura jerárquica en tres niveles: centros de acceso (97), centros de tránsito (12), y centros de interconexión (3). El diseño jerárquico era muy adecuado para el tráfico Internet ya que la componente de tráfico de interconexión, nacional (vía Puntos Neutro) e internacional, se intercambiaba en Madrid y los tráficos entre clientes en acceso eran insignificantes. La red se construyó con redundancia de equipos y enlaces para conseguir disponibilidades de cinco nueves.

La gestión se creaba por primera vez al mismo tiempo que la red. Contemplaba los sistemas de provisión, gestión de inventario, gestión de fallos, gestión de prestaciones, y gestión de la seguridad. Para estos sistemas se utilizaron productos de mercado líderes en aquella época como HP Openview (Netcool) para la gestión de fallos (fault management), Infovista para las prestaciones (performance management), con HP actuando como integrador. Para la gestión de inventario y para provisionar los servicios a los clientes, acceso a Internet y RPs MPLS, se utilizaron sendas herramientas desarrolladas por Telefónica I+D, el SPCI y el GesADSL. La gestión de la Seguridad, también bajo la responsabilidad de Telefónica I+D, contempló el bastionado de seguridad de los equipos de red y de los múltiples servidores en todos los niveles, la segmentación de tráfico de servicios y gestión, la instalación y configuración de Firewalls y herramientas como el PeakFlow en las interconexiones para detección y mitigación de ataques de denegación de servicio. En las dos figuras siguientes se esquematiza la arquitectura de gestión y de seguridad de RIMA

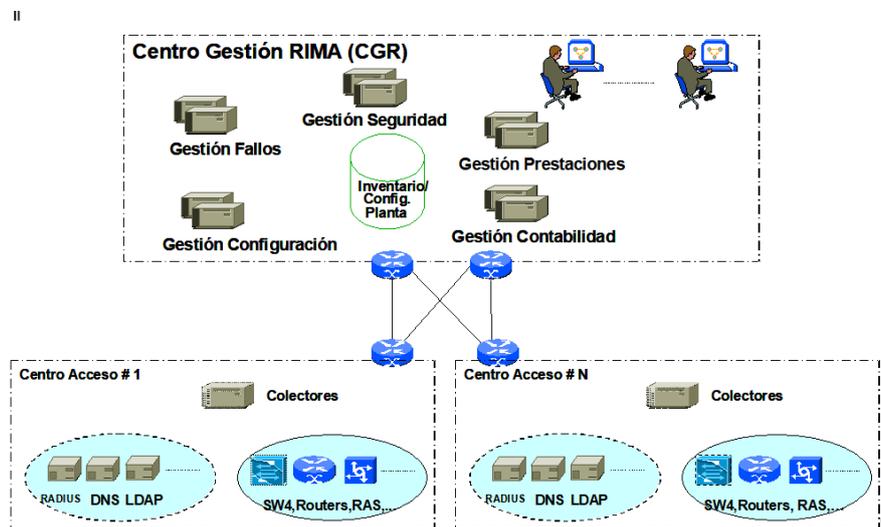


Fig.: Arquitectura de gestión de RIMA. Fuente Telefónica

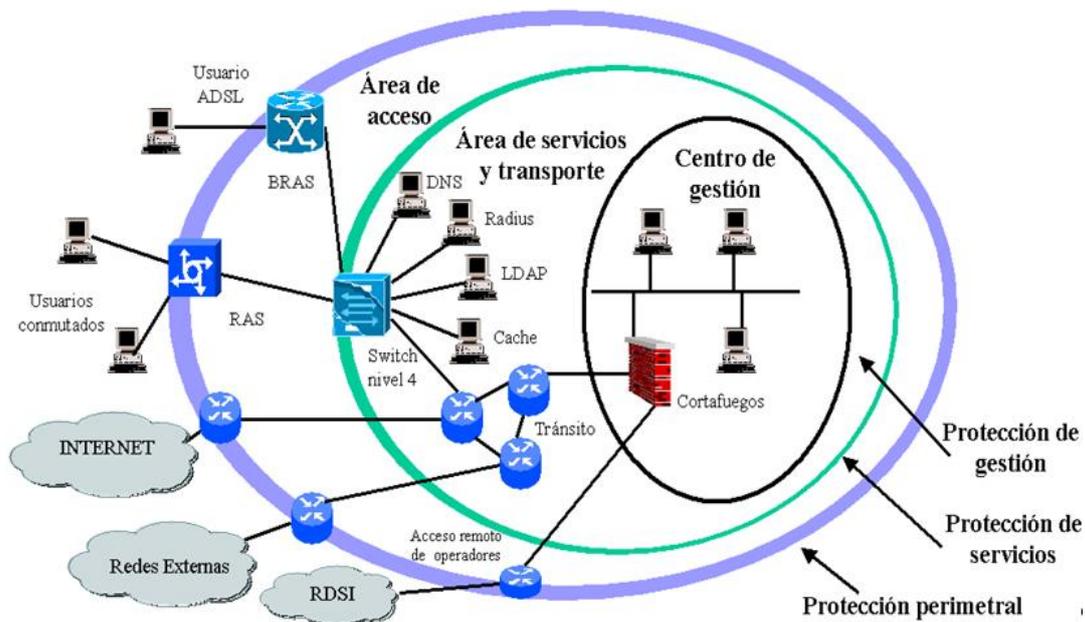


Fig.: Arquitectura de Seguridad: Niveles de Protección de RIMA. Fuente Telefónica

A medida que crecieron los usuarios y el tráfico, fue necesario prestar atención al servicio DNS de la nueva red, necesario y crítico en cualquier red IP, para traducir nombres de dominio a direcciones IP. Inicialmente, se utilizó para el servicio DNS el software libre (shareware) BIND, que pronto empezó a sufrir congestiones, dando lugar a navegación lenta e indisponibilidad completa del servicio, con el correspondiente impacto mediático asociado. La solución no pasaba sólo por añadir más y más servidores, se trataba también de utilizar un software mucho más eficiente y sobre todo sin vulnerabilidades de seguridad, como las que tenía BIND. Se optó pronto por cambiar BIND por el software de la empresa de EE. UU., Nominum, reutilizando los servidores existentes. Se creó además una arquitectura redundante con reparto de carga a nivel nacional (Madrid/Barcelona), lo que permitió superar la primera crisis en este ámbito.

Dentro del apartado de crisis, en los orígenes de RIMA, hubo una que quitó el sueño de muchos en todos los niveles de la organización. Fue la crisis de los balanceadores. Estos elementos de balanceo de tráfico en los centros de acceso, a los que se conectaban las caches y también los servidores DNS, se habían comprado de la empresa Arrowpoint, adquirida por Cisco, por su sofisticación y carácter innovador. Pronto los balanceadores, que en la maqueta no presentaban problemas, empezaron a fallar tratando tráfico de una red de aquellas dimensiones. El origen del problema se debía a la combinación de dos factores: 1) el volumen de tráfico, y 2) la peculiaridad de las Caches que exigían que los tráfico salientes y entrantes de cada cliente pasasen por las mismas interfaces y puertos en los balanceadores.

En muchas ocasiones, que hay un fallo importante en la Red, el origen está en que concurren varias situaciones anómalas simultáneamente. Cada una de ellas de forma aislada no hubiesen ocasionado la caída. Esto hace muy complejo aislar las causas raíz,

aunque una vez encontradas su explicación parece obvia, sobre todo a los no participantes en su gestión.

Las sucesivas versiones software (parches) para los Arrowpoints (conmutadores de Nivel 4) siempre terminaban fallando en Madrid Norte; razón por la cual Cisco se vio obligado a cambiar todos los equipos por los menos sofisticados, pero más robustos, Catalyst 6500, que además trabajaban bien con las caches. Una operación de grandes dimensiones dado que cada centro de acceso equipaba dos de estos equipos por redundancia y reparto de carga.

Otra característica primordial de la gestión de las Redes de la época: la migración sin impacto en servicio de redes completas, la aquí descrita fue una de las mayores. Eran interminables las jornadas preparando hasta el último detalle estos procesos. Las áreas de Tecnología, Ingeniería y Operación trabajando al unísono. Nuevamente, todo se depuraba en maqueta en entorno simulado para no impactar en cliente, otra ventaja más de este tipo de entornos.

Otros problemas, derivados en su mayor parte, de la naturaleza totalmente innovadora de una red IP de estas dimensiones, estaban relacionados con la escalabilidad de los equipos de red, que, en algunos casos, no llegaban a soportar toda la carga indicada por el proveedor. Eran problemas previsibles e incluso normales dadas las circunstancias, y normalmente se resolvieron añadiendo más equipos y tarjetas de los inicialmente planificados con el consiguiente sobrecoste asociado, que se trasladaba al proveedor. De este tipo de problemas, cabría señalar el caso de las tarjetas NPR4 en los BNGs (Border Network Gateways) de acceso, Cisco 6400, que soportaban la mitad de los usuarios previstos, y las tarjetas Engine 2, en los routers de interconexión, que no eran capaces de mover los 2,5 Gigabit/s de su capacidad nominal cuando se aplicaban las reglas de protección de la red, en esas puertas de entrada a otras redes.

El proyecto RIMA, con todos sus sistemas de gestión centralizada en el CNSO -Centro Nacional de Supervisión y Operación -de Aravaca, comenzó a cursar tráfico en agosto del año 2001, 8 meses después del inicio del proyecto en Diciembre (2000) tras la reunión de Buitrago. La FOA (First Office Application – Primera implantación con tráfico real de clientes, todos los departamentos presentes in-situ) se había iniciado a finales de mayo de 2001, cumpliendo el calendario del Proyecto.

La migración de todos los accesos de banda estrecha y primeros ADSL desde la Red UNO IP y NURIA se abordó, nunca se había hecho nada parecido, en el cuarto Trimestre, y finalizaría en diciembre de ese mismo año 2001. Para el año siguiente, 2002, el Comité de dirección de TdE fijó el objetivo de alcanzar 1 millón de ADSL (cifra enorme en aquel momento, y que significaba el inicio de la generalización de la Banda Ancha en España, no solo para empresas sino para particulares). Se alcanzó la cifra del millón de ADSLs a finales de 2002.

Fue un proyecto de enormes dimensiones en todos los aspectos (en aquel momento, no había ningún precedente de similares características, entre las Telcos más punteras del mundo): participación de personas de múltiples compañías, inversión en maquetas

y equipos de red y sistemas, horas de trabajo de la mañana a la noche y algunos fines de semana, y unas dosis de motivación y exigencia por cumplir las fechas, que ha dejado en los participantes un recuerdo imborrable.

2. La gran crecida de datos: la optimización de redes

El rápido aumento de los clientes y del ancho de banda del servicio de acceso a Internet y también de las ofertas de IPTV para el mercado residencial, sin olvidar el del uso del P2P “Peer to Peer”), produjeron un aumento de tráfico en las redes IP que los cursaban a un ritmo muy superior al generado por el crecimiento de líneas. No hay que olvidar que en esta primera década de los dos mil surgen compañías como Napster (música y archivos 1999), BitTorrent o Emule (2000) y Skype (2003) que serán verdaderos catalizadores del incremento de tráfico y de los cambios en la naturaleza del tráfico.

El crecimiento de tráfico supuso un aumento constante de los costes: inversiones para evolucionar los accesos, incluidas las subastas de espectro, y crecimiento de las redes, con un gasto continuo improductivo añadido, el de la realización constante de portabilidades de clientes entre operadores. Los ingresos, por el contrario, se reducían como consecuencia de la competencia impulsada por la regulación. Se popularizó por aquel entonces el gráfico con la evolución creciente de la capacidad y los sus costes frente a la caída de los ingresos de los operadores.

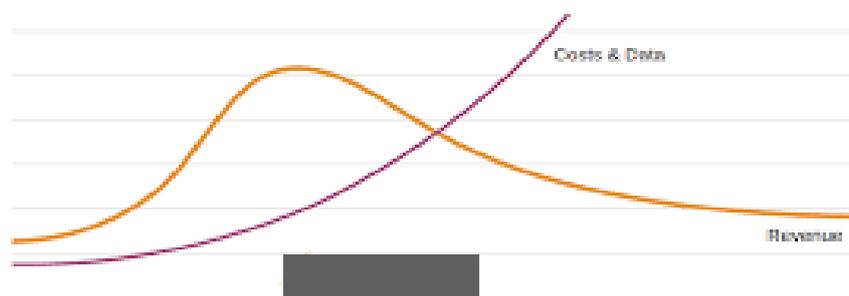


Fig. Típica gráfica de evolución de los costes e ingresos. Fuente internet

Las tecnologías y mercado de equipos de redes evolucionaron para ofrecer en cada momento soluciones que permitieran cursar el tráfico creciente. Los routers de red tuvieron que crecer en capacidad de conmutación y número y capacidad de sus interfaces para que los operadores pudieran crear topologías de red capaces de responder a la demanda. De capacidades de conmutación en Gigabit/s, pasaron a Terabit/s, de interfaces a 2,5Gbit/s pasaron a 10, 40 y 100 Gbit/s.

Aparecieron además **soluciones de optimización de tráfico**s que han ido aportando en cada etapa una mejora en la calidad ofrecida a los clientes a la vez que se conseguían eficiencias en los costes.

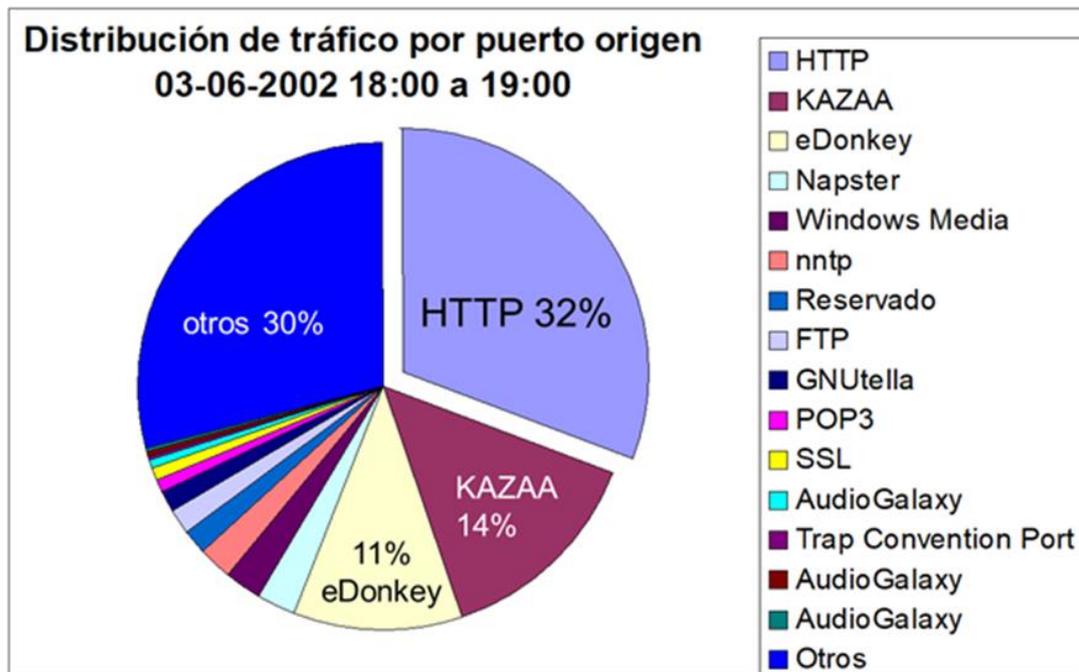
En este apartado son destacables: i) los despliegues de cache en los primeros años de la banda estrecha y de la banda ancha de baja velocidad, ii) las soluciones P2P como redes de distribución que hacían uso de los equipos PC locales de los propios clientes,

hasta que surgieron los servicios asequibles y de calidad en video “streaming”, iii) las CDNs para distribuir de forma óptima los flujos uno a uno (Unicast) de vídeo en streaming de las soluciones OTT (Over The Top), que tuvieron su explosión en la segunda década de los dos mil y; por último, iv) el multicast (replica de uno a muchos) que se aplicó para hacer viable las soluciones IPTV en el acceso (DSLAMs IP), y para optimizar la distribución dentro de las CDNs, pero que no llegó a implantarse a nivel de red IP, a pesar de haberse definido los estándares para ello.

El tema de las eficiencias por este tipo de optimizaciones es siempre controvertido para los diseñadores de Redes: las inversiones en soluciones que optimizan tráficos determinados frente a las inversiones en aumentar las capacidades generales de la red. Por poner el ejemplo en esta situación: invertir en cachés para los tráficos http y P2P pensando que se retrasan inversiones en transporte y conmutación IP y que proporcionan una mejor respuesta a los clientes.

La naturaleza de los tráficos en la primera etapa de la banda ancha muestra que el tráfico dominante y de más crecimiento fue el P2P, de las aplicaciones eDonkey y KAZAA, que distribuían contenidos multimedia (películas, música y vídeos, sobre todo). Este tráfico se pudo medir a partir de la clasificación de tráficos por puerto que se podían identificar mediante el muestreo de flujos de tráfico en los routers de red. Los usuarios para evitar el posible filtrado de estos tráficos pasaron a enviarlos por puertos no estándar (Ver figura xx).

%HTTP en la hora cargada de la semana = 32%



Clasificación de tráficos por puerto usando Netflow en la red RIMA de Telefónica de España en 2003. Fuente Telefónica

2.1 Optimización de tráfico: las caches, preludio de las CDNs, y el fenómeno P2P

Entre los años 2003 y 2006 algunos operadores en el mundo desplegaron caches de tráfico de navegación http en sus redes, fundamentalmente para acelerar la carga de contenidos en el navegador de los clientes, a la vez que se reducía la cantidad de tráfico que había que traer desde lugares remotos, con mayor tiempo de carga y mayor coste asociado. El tiempo de carga de páginas en una Internet en la que con las velocidades de 2003 de la banda estrecha (30 kbit/s) y los 256 Kbit/s de la primera ola de ADSL era muy elevado. Si se querían cargar muchas imágenes y algún video la espera en la carga de páginas superaba el tiempo de “pérdida de la paciencia” de los que las accedían. Muchos usuarios para poder cargar las páginas web y hacer uso de la información tenían que deshabilitar la carga de imágenes en su navegador.

Existía la posibilidad de cacheo en los navegadores de la época (Mosaic y Netscape) pero ese cacheo era individual, con mucha menor eficacia y eficiencia, que el que podían aportar las caches compartidas.

Junto al despliegue de la red RIMA (la red IP de Telefónica) y distribuido en puntos de presencia cuasi provinciales, Telefónica activó entre 2003 y 2006 la solución de caches del líder de mercado de la época, Inktomi, desplegada entre otros por AOL (American Online), el mayor proveedor de Internet en EEUU en aquella época, Microsoft, Amazon, eBay, etc. La cache fue muy polémica entre los internautas españoles porque se planteaba que con ella se podía acceder a contenidos privados y porque podían devolver contenidos obsoletos.

Al plantear el despliegue capilar de las caches por parte de Telefónica se primaba el conseguir la mejor respuesta en tiempo, al disminuir la latencia en la entrega de contenidos por la cercanía al usuario final, aunque su eficiencia disminuyese al disminuir la probabilidad de reutilización de contenidos por haber menos usuarios compartiendo cada servidor. Dicha reutilización se llegó a medir de forma sistemática y los datos medidos de eficiencia que se conseguían eran superiores al 30% (ver la figura siguiente). La latencia, sobre todo para servir contenidos internacionales, se reducía a la del acceso ADSL o de la red conmutada, con la consiguiente disminución del tiempo de carga de página, que también se veía reducido gracias a la capacidad de la cache de reducción del tamaño y calidad de las imágenes que servía.

- Porcentajes de ahorro por zona de destino en la hora cargada de la semana, para Madrid-Peñuelas (22-04-2002)

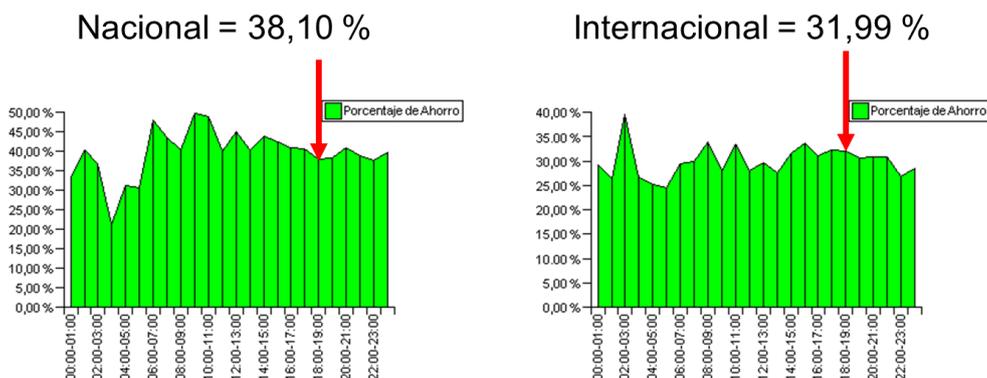


Fig. Porcentaje de ahorro de tráfico por las caches en hora cargada en la red RIMA en 2003.
Fuente Telefónica.

Los mismos servidores caches, desde el inicio, se utilizaron para ofrecer, además del caching de contenidos, servicios de valor añadido para los clientes. Tal vez el mayor exponente fue el servicio Canguro Net (control parental), de filtrado de acceso a contenidos inapropiados de los menores de edad, y planificador de las franjas de uso del servicio, que podían controlar los padres. A este servicio se fueron añadiendo otros de seguridad y protección desde la red como el antiphishing, etc. El servicio tuvo una gran aceptación en la época y se mantuvo vivo sin publicidad durante prácticamente una década.

También sobre estas caches se implantó la primera generación de CDN basada en precarga de contenidos de música y vídeo en streaming, que soportaba el streaming de Windows Media y del popular entonces Real Media de Real Networks. Sobre esta solución, Telefónica de España llegó a desplegar un servicio OTT de streaming de música por suscripción, que incluía escucha online y descarga. El servicio no tuvo éxito en su comercialización, primero por la existencia del P2P y segundo, por el éxito que tuvo la oferta de Apple con sus iPods y el iTunes.

En 2006, tras el segundo upgrade ADSL, el efecto de aceleración de la carga de páginas dejó de ser tan necesario. Además, el crecimiento del tráfico no http (puerto 80) en la red complicó la gestión específica de dicho tráfico, lo que llevó a Telefónica de España al cierre de esta facilidad de red, manteniendo en un repliegue en dos centros los servicios de seguridad de Canguro Net.

Días antes de la adquisición y puesta en servicio de la solución de caches por parte de Telefónica de España, Inktomi, la compañía que había creado y comercializaba la solución de caches y CDN de streaming fue adquirida por Yahoo. El CEO de Inktomi David Peterschmidt, expiloto de combate en Vietnam, viajó a Madrid para explicar la operación, según la cual Yahoo adquiriría Inktomi por su interés en el software de búsqueda de Inktomi para poder competir mejor con el buscador de Google. Ni Terra con Lycos, ni la operación de venta de Inktomi pudieron hacer sombra a Google (fundada en 1998) en la facilidad esencial de las búsquedas en Internet que se convirtió en el buscador "único".

David Peterschmidt en aquella visita afirmó que la solución de CDN ya disponible era aún prematura para el mercado de Internet y predijo, como así ocurrió, que en unos años las CDNs de streaming se convertirían en una tecnología de alto uso y despliegue.

En efecto, las CDNs de streaming de vídeo tendrían que esperar unos años para convertirse en una solución masiva en Internet, ligada al éxito de Youtube y a las ofertas de contenidos OTT lideradas por Netflix.

Como se ha comentado ya, el P2P que apareció con Napster y evolucionó a modelo distribuido, se convirtió en los años 2003 a 2008 en la componente de tráfico Internet más importante en la banda ancha en España, y también en el resto del mundo. Como tecnología de distribución de tráfico se puede considerar un invento innovador de primer nivel. Se basa en trocear el contenido y replicarlo y servirlo desde los PC de los clientes que lo descargan, convirtiendo a éstos, de facto, en servidores de una red de distribución de contenidos, que optimizaba el uso del ancho de banda y la velocidad de descarga por proximidad.

Los clientes con accesos xDSL con una mayor velocidad en sentido usuario red, por la que se convertían en mayores distribuidores, se veían favorecidos a la hora de obtener los trozos de contenido que les faltaban para completar su descarga. En la segunda duplicación de velocidad del ADSL, en 2006, que incluyó la duplicación a 300 kbit/s del canal usuario-red de la modalidad básica, se produjo un aumento elevado del tráfico total en las redes IP, por el aumento del P2P, mayor que el que se había producido en la primera duplicación que no afectó al canal usuario-red.

La etapa del P2P finalizaría años más tarde con el aumento de las velocidades de acceso y la aparición de las ofertas competitivas de contenidos distribuidos vía CDNs (Netflix) que permitieron la visualización en pantallas de TV de películas y series, en tiempo real y bajo demanda, sin tener que esperar y gestionar las descargas. Hubo también unas fuertes campañas internacionales por la protección de la propiedad intelectual de los contenidos y aumento la persecución y cierre de distribuidores de contenidos ilegales, como fue el famoso caso de Mega.

2.2 Tráficos anómalos que ocasionaron degradaciones importantes de los servicios a los clientes: Spam, ataques con DNS, DOS y DDOS, señalización 3G

La proliferación de ofertas de correo electrónico gratuito anónimo y la facilidad para crear dominios regulada desde ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers), llevó a la aparición y crecimiento del spam, o correo no deseado, que se comenzó a utilizar como herramienta para penetrar en las redes de los clientes, sobre todo, empresas, con fines ilícitos. En esa época aparecieron los ataques de denegación de servicio DoS (Denial of Service) que consistían en el envío de tráfico o señalizaciones excesivos a la dirección de un cliente desde una fuente maligna que terminaban produciendo la pérdida de servicio.

En algunos casos el spam y/o los tráfico de DoS saturaban los enlaces de banda ancha de las empresas provocando indisponibilidad del acceso a Internet. También a nivel de redes interconectadas, algunos administradores de dichas redes en Internet empezaron a implantar políticas de filtrado de tráfico procedentes de dominios que generaban demasiado spam. Aparecieron para mitigar este problema las soluciones antispam, implantadas en las soluciones de correo y soluciones en red.

El DNS- Domain Name Server- por su papel central en las comunicaciones de Internet y desde que se abrió la facilidad de crear dominios de forma automática y anónima, se convirtió en una infraestructura todavía más crítica, que fue objeto de ataques que en ocasiones crearon indisponibilidad masiva del acceso a Internet durante horas.

El DNS en la segunda mitad de la década de los dos mil, pasó a ser utilizado como un vector sofisticado de ataques a los clientes, mediante la difusión y control de las conocidas como “redes de bots” o “redes de malware” que permitieron crear ataques distribuidos de denegación de servicio DDoS (Distributed Denial of Service) , que a diferencia de los primeros ataques DoS procedían de millones de fuentes distribuidas: los PCs de los propios usuarios y en algunos casos los routers de acceso de banda ancha de los operadores. La detección y mitigación de estos ataques ha requerido de soluciones sofisticadas en red con despliegue coordinado global.

Otro escenario de tráfico anómalos, que provocaron crisis de indisponibilidad de acceso al servicio Internet, se produjo en la etapa final de la década y de inicio del boom del acceso de banda ancha móvil. Se trataba de las tormentas de señalización que

provocaron algunos terminales móviles conectados a las redes 3G de forma permanente. Las aplicaciones en los smartphones, que periódicamente generaban tráfico de latido con sus servidores remotos, provocaron señalizaciones de cambios de estado en red, entre las estaciones base y sus controladoras, que llegaron a saturar las capacidades de tratamiento de éstas y las consiguientes pérdidas masivas de acceso al servicio. Eran tiempos de ajuste entre el mundo de la voz y el mundo de las aplicaciones y los terminales móviles.

2.3 Los proyectos de consolidación de redes: las fuerzas centrífuga y centrípeta en acción

Ya a velocidad de crucero, la nueva red tenía que responder al crecimiento constante del tráfico, por aumento de clientes, de la capacidad de los accesos, y del mayor uso que cada uno de esos clientes hacía de ella. En esto último, hay que destacar tras el fenómeno de las descargas P2P, vivido en la primera década del siglo, el del vídeo en “streaming” que fue progresivamente creciendo hasta convertirse en la principal fuente de tráfico hasta hoy.

Este crecimiento, supuso una inversión constante en nuevos equipos y tarjetas y enlaces de red para poder crecer con la demanda, llevando a unos periodos de amortización muy reducidos (4/5 años), desconocidos en las redes tradicionales de telecomunicación. Supuso también un reto para los fabricantes de equipos, que tenían que innovar constantemente para aumentar las capacidades de sus equipos apurando al límite las últimas capacidades de procesamiento y de memoria del Silicon Valley. Los operadores, como siempre en estas situaciones, buscaron tener más de un proveedor y la alternativa a Cisco venía también de Santa Clara en California, y se llama Juniper. En Telefónica Data, todavía operando en servicios para empresas como compañía independiente, trabajaron y resolvieron la interoperabilidad de los BNGs y de los Terarouters de este suministrador con los de Cisco.

Dos suministradores, para una red que sirve a toda España, implica un esfuerzo de integración con su coste, sobre todo en sistemas, pero la competencia en los procesos de compras terminaba por hacer encajar la suma del 1+1 <2 del término TCO-Total Cost Of Ownership.

La otra gran eficiencia había que buscarla en la unificación de redes. Los ciclos económicos en el mercado de valores oscilaban entre la concentración y la desagregación de negocios para hacer subir la cotización en bolsa de los grandes grupos. Telefónica de España, Telefónica Cable, Telefónica Data, Telefónica Móviles, Terra, TWIS (Telefónica Wholesale Services), etc., operaban como compañías independientes, hay que decir que en algunos casos forzadas por la regulación.

Al llegar el ciclo de la concentración, con el permiso del regulador, se produjo primero la integración de Telefónica Data con Telefónica de España, entorno al año 2005, y en 2007 la integración operativa de Telefónica de España y Telefónica Móviles. Estas integraciones traían consigo sinergias operativas, entre otras, las de la consolidación de redes y su explotación.

La integración de Telefónica Data nutrió de un excelente conocimiento la ingeniería y planificación de redes IP y aportó la solución de integración de Juniper con Cisco. Telefónica Data, que proveía en tránsito local en Madrid la entrega de tráfico nacionales e internacionales, dejó de ser intermediario en ese segmento y su red dejó de ser

necesaria. Fue un caso de eficiencias claro basado en la eliminación de conceptos redundantes.

Además, las redes IP empiezan a ser controladas con mayor seguridad por los profesionales que, no obstante, con buen criterio, no se empiezan a atrever nada más que de forma muy limitada, a dotar de la característica “Multiservicio” a una red que aglutine necesidades diversas.

Cuando en 2007, el grupo Telefónica anticipó el mismo destino para la voz móvil que el que había seguido la voz en el fijo, procedió a unificar operativamente Telefónica Móviles con Telefónica de España.

En las redes IP la unificación se inició con un primer encuentro en las oficinas de Telefónica Móviles, en la puerta de Alcalá, de los equipos técnicos de ambas compañías. El proyecto se bautizó como Red UNICA. Los actores, los responsables de infraestructuras de Telefónica Móviles y Telefónica de España. El objetivo para las redes IP, unificar en una sola red la red IP (RIMA) de Telefónica de España y la red IP RUD de Telefónica Móviles. Objetivos: capitalizar las sinergias operativas de consolidación de las redes y su explotación y habilitar la plataforma para la creación de servicios convergentes fijo-móvil.

En 2007 la voz móvil estaba aún en un ciclo de crecimiento en terminales y tráfico, y los datos empezaban a crecer a corto plazo con la aparición de los SmartPhones. El iPhone apareció en el año 2007 y los terminales Android en 2008. Los proveedores de centrales de voz de móviles a nivel mundial, Ericsson, Alcatel, Lucent, Nortel, ya habían pasado por su fase de adelgazamiento forzado y habían iniciado la transformación de sus soluciones de conmutación clásica a soluciones en las que la señalización y la voz se realizaban sobre redes IP y servidores de propósito general. En Telefónica Móviles se estaba ya desarrollando la transformación de voz a IP y lo primero que había que resolver al fundir RUD y RIMA era el transporte de la telefonía móvil en IP. Hay que decir que el grado de automatización en la provisión y gestión de RUD era mínimo, y que se trataba de provisionar muchos flujos de señalización y voz, a través de numerosas capas de firewalls, en distintas VPNs, según la compleja arquitectura que había concebido el 3GPP. En tráfico, sin embargo, los volúmenes no eran ni remotamente comparables a los de la banda ancha fija.

Fue entorno al año 2008 cuando se produjo el debate de si una o dos redes. Las fuerzas centrípetas en busca de las eficiencias empujaban hacia la unificación total, las fuerzas centrífugas, a favor de la especialización de redes, argumentaban contra dicha integración. La voz hecha en IP requería una red mallada de poco tráfico, muy segura, y optimizada en latencia. La red de Internet era jerárquica con mucho tráfico y un ritmo de actualización de equipos, tarjetas y software casi frenético. En el nivel más ejecutivo la pregunta era: ¿Qué pasa si se cae la red UNICA? ¿se quedan todos los clientes sin voz, comunicaciones de empresas e Internet?

Como ya se ha apuntado, en la red de Internet se habían producido caídas masivas puntuales, por ejemplo, ligadas a indisponibilidad del DNS. Se produjeron también caídas por “inyecciones de rutas”, desde redes internacionales, que provocaron caídas del encaminamiento en el núcleo de red, y con ello la pérdida completa del servicio para todos los clientes. Si bien había soluciones arquitecturales para resolver esas casuísticas: por ejemplo, el uso de redes segmentadas lógicamente (RPVs), o la utilización de los protocolos de encaminamiento IP solo en los routers de interconexión y uso de etiquetado MPLS en el core, la solución final se consensuó entorno a la

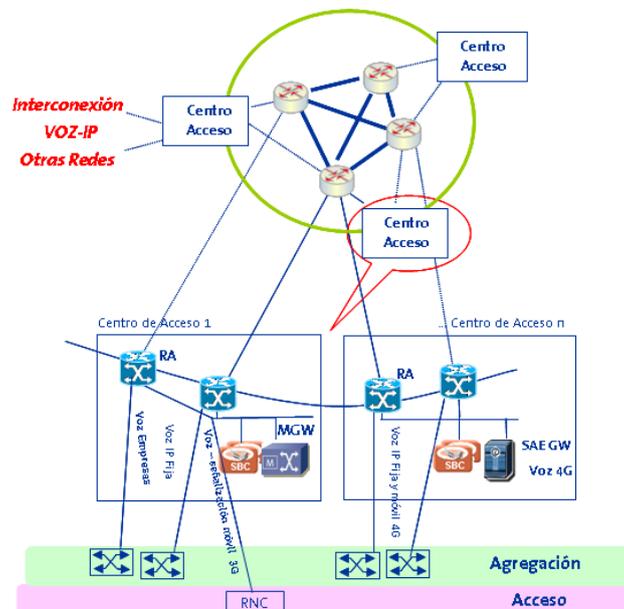
creación de dos redes separadas, ya que no había certeza total respecto al impacto de problemas software en los elementos críticos de la red. La red mallada dedicada a los tráficos de voz se bautizó como el Anillo Crítico.

El proyecto de red UNICA fue tremendamente laborioso, pero el gran conocimiento y dedicación de toda la organización de red con expertos de fijo, móvil y datos trabajando integrados, la llevó a buen puerto.

Entre tanto, la red IPTV, de la solución de TV y Vídeo bajo demanda de Movistar, funcionaba como red separada a las anteriores dentro de Telefónica de España. Telefónica Cable quedó al cargo de la cabecera de contenidos. Esta red llevaba por anillos de transmisión óptica, desde cabecera, en Ciudad de la Imagen, las señales de los canales de TV, hasta los 23 centros de acceso nacional, donde entraban ya en routers IP, que conectaban con los equipos de acceso xDSL (IP) primero y OLTs (IP) después vía red Alejandra. En el tramo de acceso de cliente había separación total de Internet, de la voz, y del IPTV con uso del multicast para la difusión de canales. Nunca se llegaron a concretar los planeamientos de integración de la red IP de IPTV con la red UNICA.

2.4 Conectividad, vídeo y debates de concentración y distribución

Aunque el tráfico de voz móvil cambió de tendencia, como pasó con la voz fija, el proyecto de transformación de la voz a IP sobre el Anillo Critico siguió demandando un esfuerzo continuado de actuaciones estructurales asociadas a la evolución de las sucesivas generaciones de la radio para móviles (2G/3G/4G). Las conectividades, con provisión manual, requerían de una elaborada planificación de los trabajos y una cuidadosa revisión de direcciones IP a utilizar para evitar hacer uso de las que ya estaban en servicio. En esta arquitectura ya no aparecen las múltiples capas de Firewalls de la red RUD 3GPP.



Estructura de red IP en Telefónica. Fuente. Telefónica

El tráfico de Internet creció, con un aumento muy acusado de la componente de vídeo, especialmente con la aparición de los servicios OTT de streaming, Youtube, Facebook, Netflix, HBO, Disney, Yomvi, Movistar+, etc. También creció significativamente el tráfico

de las soluciones IPTV, de operador, sobre todo desde que se creó el servicio de grabaciones y la modalidad de U7D (últimos siete días) que se entregaban en streaming unicast.

Al principio de la segunda década de los dos mil, ya con una red IP Cisco/Juniper, se concretaron actuaciones fruto de los debates recurrentes de distribución versus concentración, en el número de centros, para los distintos niveles de la red IP.

En el año 2011, en la interconexión, se abrieron nuevos centros en Barcelona para intercambiar los tráficos nacionales e internacionales de toda la región noroeste, sin necesidad de transportarlos hasta Madrid. Aunque había planteamientos mucho más agresivos basados en ahorros de transmisión, la cosa quedó ahí, teniendo en cuenta que es muy aconsejable poder controlar las entradas y salidas de la red para protección perimetral de seguridad.



Fig.: Interconexiones de la red UNICA año 2011. Fuente Telefónica

En el tránsito, donde Juniper tomó la delantera en capacidad de conmutación con su generación de Terarouters Juniper T1600 (1,6 Tbit/s) y T4000 (4 Tbit/s), se llevó a cabo una concentración de centros de tránsito que permitía ahorros por optimización en el número de enlaces y equipos. La operación de eliminación de centros de tránsito suponía un complejo y arriesgado proceso, que finalmente se llevó a cabo con éxito.

La concentración y reducción del número de centros de acceso fue otro debate constante, casi desde el inicio del establecimiento de la red. La presión por conseguir ahorros en equipos de conmutación IP ampliando la red metro Ethernet y reduciendo la huella del IP surgía periódicamente, en cada ocasión marcando una reducción de centros de acceso más o menos agresiva. La referencia de concentración, marcada por los 23 centros de la red IP para el IPTV, marcaba el grado mayor de concentración que se llegó a plantear. Este debate terminó resolviéndose hacia el concepto de máxima distribución de la red IP MPLS, que se expandió hasta los nodos más remotos de la red metro. Pero esto merece su propio relato a continuación.

2.5 Explosión de las CDNs y su progresiva capilarización

Durante la última década del siglo XX, el protagonismo del vídeo OTT supuso la explosión de las CDNs de los grandes proveedores de vídeo instaladas a nivel nacional, en centros de colocación privados o públicos, donde los operadores de acceso, y Telefónica (a través de TWIS (Telefonica Wholesale International Services) en particular, comenzaron a interconectarse directamente a las mismas. Hay que destacar aquí las CDNs de Google, de Facebook, de Netflix, y de Akamai como agregador de contenidos de proveedores pequeños y medianos. La red IP de Telefónica de España

se conectaba a Google en Madrid en el año 2012. El tráfico servido por conexión directa a estas CDNs pronto superó en España al servido por interconexión internacional IP (remota).

Entorno al año 2015, la red IP de Telefónica de España alcanzó el 1 Tbit/seg de tráfico máximo por interconexión remota Internet.

Para entonces, el tráfico servido desde las CDNs instaladas en España y conectadas directamente a la red IP de Telefónica había superado ampliamente ese Terabit/s de tráfico no cacheado. Solamente la CDN de Google en el 2015 se interconectaba a 1,27 Terabit/s a la red de Telefónica de España, la CDN de Akamai lo hacía a 675 Gbit/s y la CDN de Netflix, que, acabada de entrar en España, lo hacía con 200 Gbit/s. Las tres requerían ya de ampliación. En números redondos, en 2015 las CDNs servían 2 Terabit/s de tráfico, frente al 1 Tbit/s servido por las interconexiones clásicas IP.



Fig.: Capacidad instalada a nivel de interconexión de la red IP de Telefónica en las CDNs de Google, Akamai y Netflix en septiembre el año 2015. Fuente Telefónica.

El debate interminable del modelo de pago entre operadores de contenidos y de red empezó a concretarse a favor de los operadores de red, que empezaron a percibir algunas compensaciones por tráfico entregado a los clientes de sus redes a nivel nacional. El debate político de la Neutralidad de red y la capacidad negociadora de estos gigantes ha hecho que esas cantidades sean mínimas, desde el punto de vista de los operadores de red, que afrontan las grandes inversiones de crecimiento de los accesos y las redes, con los ingresos por sus servicios en constante erosión.

El siguiente movimiento en el avance de estas CDNs, y su deseada monetización por los operadores de red, será el de interconexión de éstas en centros de la propia red de los operadores, en un nivel y con unas capacidades adaptadas a la demanda de tráfico local en cada momento.

2.6 Un gran proyecto para la red única

La palabra FUSION en España, en el contexto de las TICs (Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones), está asociada a Movistar y sus ofertas de empaquetamiento fijo-móvil que incluye la fibra hasta el hogar. En la instalación de la fibra hasta el hogar las contratas de los operadores de red hacen uso de la fusión de las fibras para conectar los hogares a la red con máquinas sofisticadas dado el nivel de precisión que requiere esa operación.

Los ingenieros de Telefónica de España eligieron para su último gran proyecto de transformación de la red IP, el termino FUSION, que en la red está asociado a la combinación de la red metro ethernet y de la red IP para fundirse en una sola red.

En el plan estratégico de red de Telefónica de España, en el año 2007, ya se había planteado la arquitectura de red IP del proyecto FUSION, incluso con un grado aún mayor de integración para los equipos de acceso, que incluía, además de los accesos

L3/L2 de la red fija y móvil para residencial y empresas, la función de acceso IP de la red IPTV.

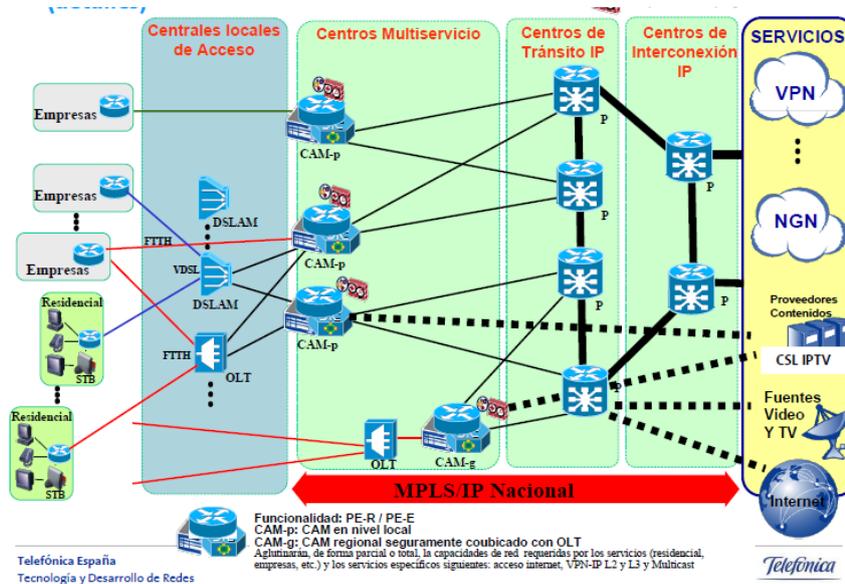


Fig.: Modelo de red IP distribuida en el año 2007. Fuente Telefónica

En el año 2017, con un muy elaborado caso de negocio y una negociación de compras memorable, se inició el proyecto de distribución del acceso IP. El proyecto FUSION fue adjudicado a dos suministradores: Nokia, cuya presencia era muy significativa en la red Metro Ethernet, tras la adquisición de Alcatel-Lucent; y Juniper, que ha conseguido con este proyecto llevar sus soluciones IP hasta el nivel metropolitano.

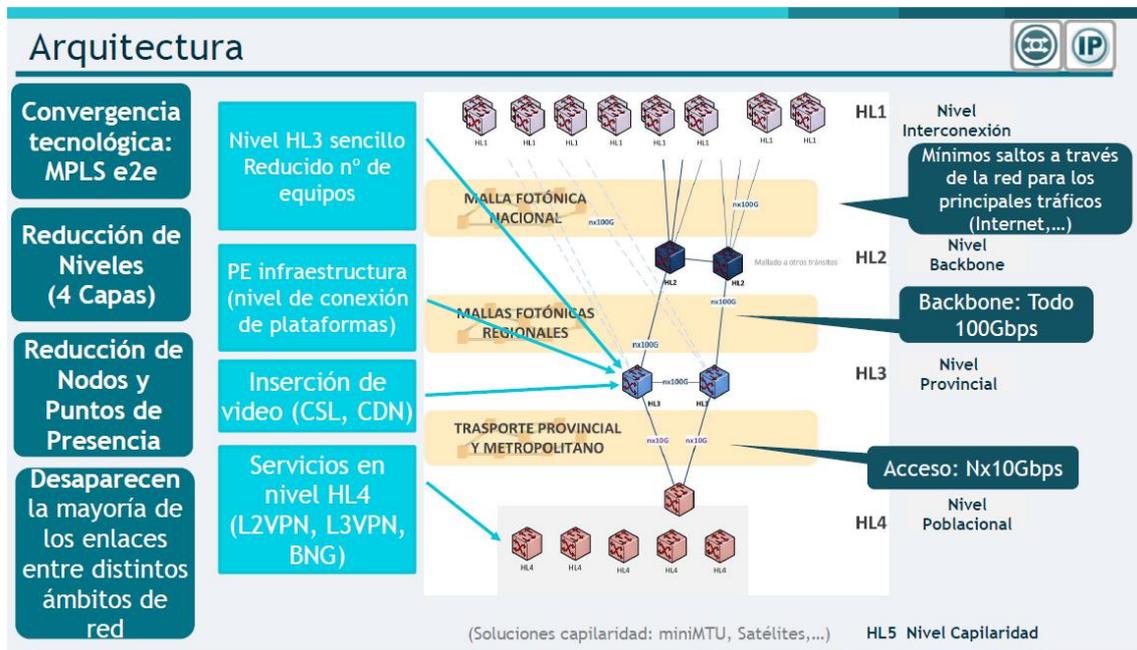


Fig. Arquitectura red FUSION de Telefónica de España (2017). Fuente Telefónica

Con la reducción del número de capas y nodos, se consiguió también una reducción significativa en el número de enlaces de transmisión óptica subyacente. Esta última, estructurada en mallas fotónicas, con capacidades de señalización y restauración

automáticas, utilizando lo que se conoce como plano de control GMPLS, en los ámbitos nacional, regional, y provincial o metropolitano.

En el año 2019, al finalizar la primera fase del proyecto FUSION, el incremento en la demanda de tráfico que se produjo en el periodo 2015/2019 fue de un 250%, superando ampliamente la prevista inicialmente.

Con esta distribución se ha simplificado la red, se ha ganado en automatización de la provisión, al no ser necesario provisionar VLANS anidadas en la red metro, y muy importante, **la conectividad IP y ethernet, están disponibles a 1 y 2 saltos de equipo del cliente**. Se habilita así una opción de capilarización máxima de las CDNs, y de conexión en general de servidores de contenidos, que permite latencias de unos pocos milisegundos en el acceso a los mismos. Esta arquitectura atiende tanto el acceso fijo de fibra, como el acceso de banda ancha basado en 4G y sobre todo en 5G donde el operador habilitará entornos Cloud compartidos y segmentados, con máximo nivel de capilaridad.

“La fase que comienza ahora se centrará en seguir profundizando en esta virtualización de la red pero, también, en la automatización, provisión y mantenimiento del servicio, así como en la adaptación para abordar nuevos servicios (streaming, cloud computing, etc.). De hecho, uno de los pilares de esta Red Fusión serán las líneas de alto nivel directas a proveedores de contenidos digitales y de plataformas en la nube, con el fin de mejorar la experiencia del usuario final a la hora de utilizar estas funcionalidades”.

Se sigue entre tanto trabajando en la introducción y utilización del protocolo IPv6 que solventa las conocidas limitaciones de direccionamiento del IPv4. En 2023, Telefónica de España ha habilitado dicho protocolo para terminales de acceso móvil, lo que supone un hito destacable en este esfuerzo de transformación mundial que se inició en 1994 con la decisión de los órganos de ingeniería de Internet de elaborar el nuevo protocolo. Esto confirma la complejidad que supone reemplazar una infraestructura en una red de redes del tamaño de Internet, lo que no ha impedido su crecimiento, utilizando para ello en el interim, soluciones no óptimas de compartición de direcciones IPv4.

3. El viaje hacia internet cuántico

3.1 De la red galáctica de J.C.R. Licklider (MIT) en 1962 a la red cuántica de Benett y Brassard en 1993⁶

La Internet que ha dado lugar a la revolución por todos conocida, fue “soñada” por primera vez en el año 1962 por J.C.R. Licklider (MIT) que acuñó el término red galáctica para referirse a *“un conjunto de ordenadores interconectados a través de los cuales se podría tener acceso datos y programas en cualquier sitio”*.



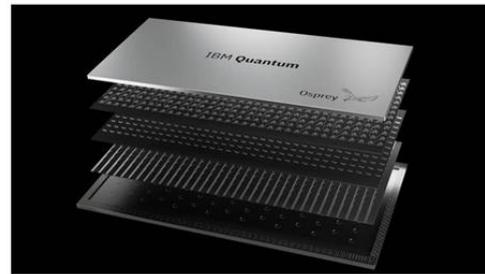
Joseph Licklider 1915-1990

¿Cuál es el próximo “sueño” que puede traer otra revolución como la vivida con Internet?

⁶ Figuras y contenido a partir del artículo en prensa digital: “Descubren cómo transportar energía instantáneamente sin usar cables ni ondas”. Jesús Díaz, El Confidencial (20/01/2023).

En enero de 2023 aparecen en prensa divulgativa artículos que se hacen eco del éxito experimental del transporte de energía de forma instantánea y sin usar cables ni ondas. En concreto ver artículo publicado en El Confidencial por Jesús Díaz (20/01/2023 actualizado 26/01/2023)

Se trata de los experimentos realizados por el japonés **Kazuki Ikeda** en uno de los ordenadores cuánticos que IBM pone a disposición de empresas e instituciones educativas. Desde sus laboratorios en la Universidad de Stony Brook, NY, Ikeda dice que ha logrado teletransportar energía usando un par de partículas cuánticas entrelazadas, dentro de unos de los chips cuánticos de IBM.



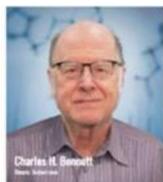
El chip cuántico IBM Osprey de 433 cubits. (IBM)



El físico Masahiro Hotta y el físico Stephen Hawking

Ikeda escribió un algoritmo para esa máquina siguiendo la teoría de Hotta, que afirma que “la medición de un sistema cuántico inyecta energía en el sistema y que esa energía puede ser extraída del mismo sistema en una localización diferente sin que la energía tenga que atravesar ninguna distancia ni usar un canal físico”. La energía es siempre la misma, teletransportándose sin pérdida alguna ni tampoco ganancia. Sencillamente desaparece en un sitio y aparece en el otro gracias a las fluctuaciones de los sistemas cuánticos

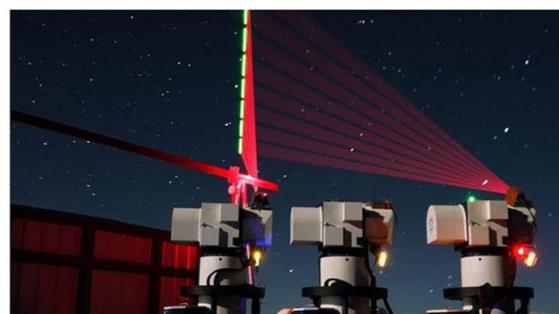
La primera vez que se formuló la posibilidad de **teleportar energía** sin ningún límite de distancia fue en 2010, cuando un equipo de científicos japoneses liderados por **Masahiro Hotta** publicó un artículo científico detallando los cálculos que lo demostraban.



Su trabajo estaba basado en la labor que **Charlie Bennett** desarrolló en 1993, cuando demostró por primera vez que la **teleportación de información** a nivel cuántico era posible en el Centro de investigación Watson de IBM en Nueva York.

El físico **Masahiro Hotta** concluyó que los fundamentos de aquel experimento, con información, podrían aplicarse a la teleportación de energía sobre distancias ilimitadas y sin reducción del nivel energético, algo que la revista Technology Review del Instituto Tecnológico de Massachusetts calificó en su día como “una técnica que tendría profundas consecuencias para el futuro de la física

La teleportación instantánea de información usando partículas cuánticas entrelazadas a grandes distancias es posible desde hace décadas. La experiencia más notable fue la teleportación a 1.400 kilómetros usando el satélite Micius, parte del programa chino-europeo Quess. Ése fue el récord de la distancia más larga jamás conseguida.



Parte del sistema Quess para la teleportación cuántica de información.

La demostración de teleportación de energía funciona de forma similar y no tendrá limitación en la distancia de teleportación, por lo menos según el estudio *pendiente de revisión por pares publicado en el servidor Arxiv*.

Ikeda asegura que “la realización de un QET (teletransporte cuántico de energía) de largo alcance tendrá implicaciones importantes más allá del desarrollo de la tecnología de la información y la comunicación y la física cuántica. La información y la energía son físicas, pero también tienen una dimensión económica”

Esto último es importante: nadie sabe todavía las implicaciones que este descubrimiento y el establecimiento de una red internet cuántica podrán tener. Se espera que la red se consolide y se haga mundial en la década del 2030, pero nadie puede imaginar cuáles serán las consecuencias de este tipo de comunicaciones y transacciones más allá de conseguir comunicaciones instantáneas imposibles de interceptar.

3.2 La carrera de la teletransportación cuántica

Pero, a pesar de no conocer sus ramificaciones y aplicaciones de esta nueva tecnología ahora en desarrollo, las potencias mundiales están corriendo una nueva carrera para conseguir dominar el sector, algo que los expertos dicen que es vital para conseguir la futura hegemonía mundial.

Por el momento sabemos que China está a la cabeza, dejando atrás a los Estados Unidos por ahora. Los chinos llevan años construyendo este tipo de redes y, según los expertos, su impresionante avance en los últimos seis años tendrá consecuencias estratégicas a nivel comercial y militar. Es lo que cuenta Arthur Herman, historiador, experto en computación cuántica, inteligencia artificial y director de la Iniciativa de la Alianza Cuántica del think tank internacional Hudson Institute.

Herman también afirma que, ante el éxito chino, Europa ha pegado un acelerón con tres iniciativas público-privadas cuyo objetivo es establecer redes de comunicación cuánticas apoyados por satélites. Sorprendentemente, EEUU ahora mismo está fuera de esta nueva carrera tecnológica que ellos mismos iniciaron en 2003, cuando DARPA — el brazo de investigación avanzada del Pentágono que desarrolló Internet y el GPS, entre otras muchas tecnologías claves — puso en marcha la primera red de comunicación cuántica. Todavía queda mucho partido, pero, de confirmarse, este experimento habría pegado un acelerón más en una carrera cuyo final todavía es imprevisible.

3.3 Suma y sigue

Sea cual sea la próxima revolución, siempre ha sido muy difícil predecir lo que traerá el futuro sin equivocarse, está claro que las redes IP, ligadas a Internet, han tendido y siguen teniendo un desarrollo y un crecimiento mayúsculo que ha superado lo que podían imaginar los más soñadores. Han contribuido también a mejorar la vida de las personas, como se hizo tan manifiesto durante la pandemia vivida con el COVID. El uso de las comunicaciones, el entretenimiento y el trabajo remoto mitigaron mucho los problemas que ocasionaba el aislamiento forzado, y las redes IP aguantaron con matrícula de honor el gran tirón de demanda de tráfico que se produjo sin degradación ni pérdida de servicio.

Al celebrar el centenario de vida de Telefónica, las redes IP siguen ahí, transportando el tráfico de todos los servicios de forma silenciosa. Mejor si no se habla mucho de ellas,

porque eso suele pasar cuando dejan de funcionar. Gracias a los muy buenos profesionales que las siguen haciendo crecer, de forma óptima, al ritmo frenético de crecimiento de los tráficos, y a los que las supervisan y mantienen, para que sigan ofreciendo esos cinco nueves en calidad.



www.telefonica.com