

Historia de Internet y de sus inicios en España

Juan Quemada Vives <juan.quemada @ upm.es>

Catedrático Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid. Cuenta con una amplia experiencia en diseño de protocolos con técnicas formales, redes de datos, aplicaciones para Internet y TIC en educación, campos en los que ha realizado múltiples publicaciones (<https://orcid.org/0000-0002-5575-8834>, <https://dblp.org/pid/46/6805.html>). Promovió el primer despliegue de una subred TCP/IP en España y de su conexión al email de Internet a través de EUNET en 1985. Entre otros premios, ha sido galardonado con el Premio a los pioneros de internet en España (concedido en la Campus Party de julio 2011 en Valencia) junto con J. Barberá, J. M. Blasco, J. A. Esteban, M. Á. Sanz y F. García. Ha sido investigador principal del grupo Internet NG en UPM y director de la Cátedra Telefónica en UPM.

Licencia

Este documento tiene una licencia CC BY-NC 4.0. Para ver una copia de esta licencia se puede visitar la siguiente URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Museo de la Historia
de las Telecomunicaciones
Jorge Serna ETSI Telecomunicación -
Universidad Politécnica de Madrid
Ubicación: D-mus



POLITÉCNICA

Contenido

Introducción.....	3
Introducción a las redes, a los protocolos y a Internet.....	5
La conmutación de paquetes y el desarrollo de ARPANET	10
El boom de las primeras redes de datos: la Torre de Babel	12
El mundo UNIX y sus redes: UUCPNET, USENET, EUNET... ..	15
El modelo ISO – OSI e ITU/CCITT.....	17
El nacimiento de Internet.....	18
NSFNET consolida Internet como una alternativa comercial en EEUU.....	21
1985: un año intenso en España.....	22
TCP/IP y el email de Internet (EUNET) llegan a España	25
TCP/IP y EUNET se extienden por España	28
Nace RedIRIS: España se conecta a la Internet global	31
Las primeras empresas españolas entran en Internet	35
Los primeros <i>ISPs</i> : Goya Servicios Telemáticos, Servicom, .., Infovía,	37
El boom de Internet: la Web nace en el CERN y aparecen los servicios online	39
La fibra óptica trae la Internet de Banda Ancha	43
El final del monopolio y la desregulación de las telecomunicaciones	45
La eclosión de Internet: ISOC, ICANN, RIRs, IPv6, IGF	47
HTML5 y la consolidación de la plataforma Web	50
Resumen del despliegue de Internet en España y conclusiones.....	52
Agradecimientos.....	60
Abreviaturas y Acrónimos	61
Bibliografía	67

Introducción

Este documento traza una panorámica de la historia de las redes de datos y de Internet, describiendo tanto los despliegues como los protocolos y la evolución de la arquitectura de Internet. Además, cubre con más detalle los primeros pasos de Internet en España, sobre todo en los años ochenta y primeros noventa, poniendo especial énfasis en las actividades en que el autor o personas cercanas a él estuvieron involucrados. Se trata de preservar los datos que todavía recordamos, así como de dar una visión cercana de aquellas actividades. El texto se ha completado con información proporcionada por bastantes pioneros que estuvieron involucrados en los despliegues de redes de entonces, además de una amplia consulta bibliográfica. También es una reflexión personal sobre la evolución de Internet en el contexto de la revolución TIC.

Existen muchas redes que transportan información codificada digitalmente. A estas redes las hemos denominado genéricamente redes de datos o de paquetes, cuando paquetizan la información. El nombre de Internet se utiliza solo para denominar las redes que usan la arquitectura TCP/IP. El nombre de Internet proviene del protocolo IP, de la pila TCP/IP. IP es el acrónimo de Internet Protocol. El artículo se centra sobre todo en Internet, es decir las redes que incorporan la pila TCP/IP, y describe con menor detalle las otras redes de datos.

El artículo comienza con una descripción simplificada de las redes, de los protocolos y de Internet. Está pensada para profanos, por lo que se omiten los detalles de los protocolos y las partes mas complejas de la red. En ella se introduce la terminología y los conceptos básicos utilizados. Este capítulo debe ayudar a entender mejor los capítulos posteriores, especialmente a personas con menos conocimientos técnicos.

El texto continúa con el nacimiento de la conmutación de paquetes, una tecnología que ha revolucionado la sociedad actual. Sigue con una panorámica de las muchas redes de paquetes que precedieron a Internet y convivieron con ella en los primeros años. Analiza también el mundo del sistema operativo (SO) UNIX, que fue muy influyente en el desarrollo de Internet al ser primer SO en incorporar TCP/IP de forma nativa. También entra brevemente en el desarrollo del modelo ISO-OSI y de otros protocolos de ITU/CCITT. De ahí se pasa a describir el nacimiento de Internet y sus características más importantes, así como su consolidación en el proyecto NSFNET en EEUU.

A continuación, se describen los primeros pasos de Internet en España. El primero es el despliegue la primera subred con el protocolo TCP/IP de Internet que se conecta a su email basado en la RFC822 a través de EUNET. Este despliegue fue organizado por el autor en la ETSI Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid y estuvo operativo el 2 diciembre de 1985. También se describe como TCP/IP se extendió a otras universidades y empresas. Se sigue con el proceso de gestación de RedIRIS, la red académica española, que fue la primera gran red en decantarse por Internet en España y en permitir conectividad IP directa con el resto del mundo, lo que se consiguió en diciembre de 1990. Asimismo, se presenta una breve panorámica de la entrada de las primeras empresas españolas en el mundo de Internet, así como de la creación de los primeros proveedores de Internet (ISPs).

Se describe después el gran boom de Internet provocado por la aparición de la Web en los noventa y como esta aplicación permite a Internet desarrollar todo su potencial y convertirse en el gran pilar de la sociedad de la información. Se continua con el gran crecimiento de Internet que siguió a la aparición de la fibra óptica y la banda ancha, así como los eventos que se realizaron entonces con la aplicación Isabel. Sigue la adaptación de las instituciones de gobernanza de Internet ocurrida en los noventa y como se resuelven los grandes retos que se plantean por aquel entonces a la red.

Por último, se describe la evolución de la arquitectura de las aplicaciones de Internet y de los protocolos de la plataforma Web durante los años 2000. Es en estos años cuando maduran las normas que permiten soportar ese complejo mundo de aplicaciones en la nube que tenemos actualmente. Aunque este documento se centra en los ochenta y noventa, se ha hecho una excepción, porque las normas de la plataforma Web no se han estabilizado hasta recientemente.

Se finaliza con un resumen de la evolución de Internet en España, en el que se añaden conclusiones y reflexiones sobre diversos aspectos de la accidentada evolución que ha experimentado la red, así como de su relación con la revolución TIC.

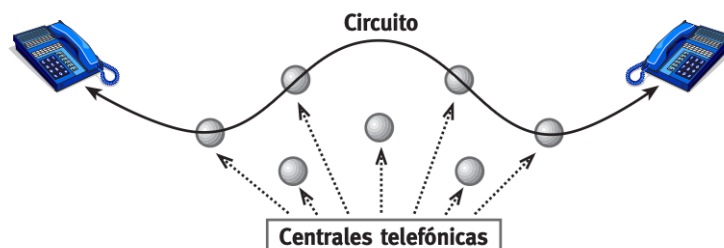
El desarrollo de las redes de datos y de Internet ha requerido un enorme esfuerzo, con contribuciones de muchísimas personas durante los últimos 60 años. Ahora bien, dada la limitación de espacio, este artículo se centra en cubrir con mayor detalle las partes relacionadas con los primeros pasos de Internet en España. Aunque se ha hecho un gran esfuerzo por incluir todo lo relevante, sobre todo en la parte de Internet en los ochenta y primeros noventa, el autor agradece cualquier comentario o sugerencia sobre el contenido que ayude a mejorarlo o completarlo. Los excelentes libros y artículos de la bibliografía proporcionan mucha más información.

Introducción a las redes, a los protocolos y a Internet

La comunicación de datos comienza con los tambores, las señales de fuego o de humo, los sistemas de señales ópticas, de telegrafía óptica o incluso los servicios de correo postal. Todas ellas pueden considerarse formas primitivas de envío de datos a distancia.

No es sin embargo hasta la aparición de la telegrafía eléctrica en el siglo XIX, cuando aumenta significativamente la distancia y la velocidad de transmisión de estos sistemas, que incluso codifican digitalmente los mensajes en algunos casos. La telegrafía aceleró tanto las comunicaciones en su momento, que algunos la denominan la «Internet Victoriana» [Stan-dage 98].

La telegrafía evoluciona y aparecen los módems para envío de datos por redes de telefonía o por otros tipos de líneas, los teletipos, los télex, los telegramas y las redes de envío de mensajes.



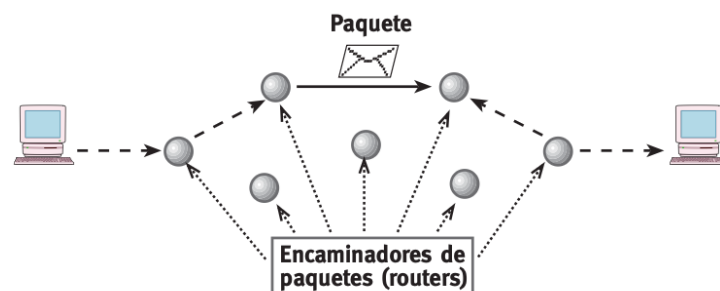
Circuito telefónico establecido a través de centrales telefónicas, que algunos protocolos digitales imitan creando circuitos virtuales

En los años sesenta existían varias redes de telecomunicación independientes. Las más importantes eran:

- Las redes telefónicas: utilizaban una técnica conocida como conmutación de circuitos y necesitaban establecer un circuito entre origen y destino a través del cual los interlocutores dialogan a través de mensajes de voz. La voz se transmitía entonces de forma analógica, pero la digitalización de las redes de transmisión permitió, a partir de los 70, su codificación digital.
- Las redes de difusión de radio o televisión: distribuían voz o TV utilizando señales de radiofrecuencia. La voz o la TV se distribuían desde puntos centrales con emisoras conectadas a grandes antenas. La señal se difundía a una enorme cantidad de receptores de radio o TV donde se recibía la señal enviada.
- Las redes de datos: estaban basadas entonces en la «conmutación de mensajes», para enviar datos principalmente en forma de telegramas o télex.

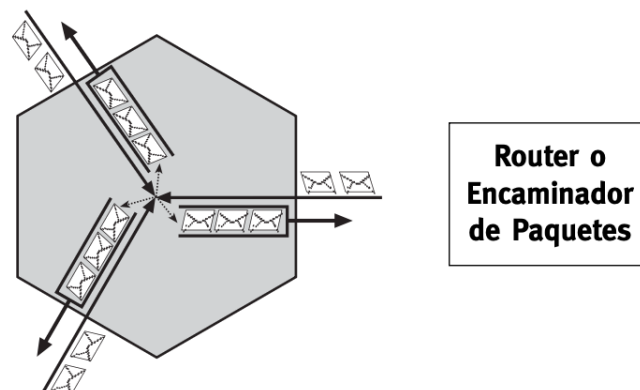
- Los ordenadores acababan de aparecer y podían tener terminales remotos, tanto por lotes (*batch*), como interactivos (*time sharing*), que se conectaban con el ordenador a través de líneas telefónicas adaptadas a datos. El equipo UNIVAC del Ministerio de Educación y Ciencia, que muchos utilizamos entonces a través de terminales remotos, es un ejemplo de este tipo de sistemas.

Las redes de datos de los años sesenta eran «redes de conmutación de mensajes» utilizadas para enviar telegramas, reservas aéreas y algunos otros tipos de mensajes. Estas redes funcionaban de forma similar al correo postal, pero resultaban mucho más rápidas. Los mensajes eran como cartas digitales dirigidas a un usuario. Los usuarios enviaban mensajes a través de equipos terminales, y éstos eran retransmitidos a través de los nodos de la red hasta llegar al equipo terminal más cercano al usuario, donde el mensaje se depositaba en un buzón digital para imprimirlo o hacerlo llegar al usuario de alguna forma.



Envío de datagramas (paquetes) entre encaminadores (routers) de una red conmutación de paquetes. Es una técnica similar al correo postal.

Es por entonces cuando aparece la conmutación de paquetes, que tanto impacto ha tenido en las redes de telecomunicación. La conmutación de paquetes es un caso particular de la conmutación de mensajes, que mejora el uso de los recursos de la red. Las primeras redes de interconexión de ordenadores empiezan a aparecer entonces y utilizan la conmutación de paquetes con mucho éxito. La conmutación de paquetes trocea los mensajes en origen, enviando a la red el mensaje partido en paquetes de bits de igual tamaño (salvo el último). Los paquetes son más fáciles de procesar y almacenar que los mensajes, que son más largos y de longitud impredecible. Los nodos de la red de paquetes son ordenadores optimizados para realizar funciones de almacenamiento y envío de paquetes.



Encaminador (router) de paquetes por almacenamiento y envío, que recibe paquetes por una línea y los almacena en la cola de salida de la línea que lleva el paquete a su destino.

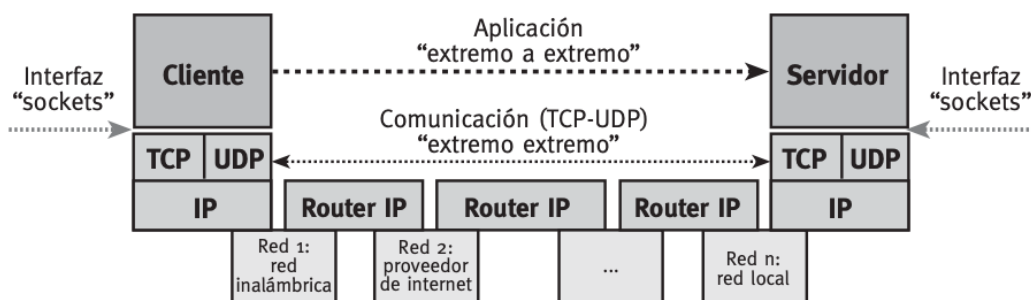
Estos nodos se denominan hoy «encaminadores» o «*routers*», porque reciben un paquete por una línea y lo reenvían por otra que lleva a otro nodo más cercano a su destino. Este proceso se realiza siguiendo el algoritmo de enrutamiento programado en los nodos. Los mensajes se reconstruyen en destino, juntando todos los paquetes que los forman antes de entregarlos al destinatario.

Desde entonces, tanto los terminales de usuario como los nodos y otros equipos de red son ordenadores especializados en comunicarse a través de paquetes. Los algoritmos utilizados por los ordenadores para comunicarse entre sí se denominan protocolos.

Los protocolos de ordenador son el conjunto de algoritmos, reglas y formatos utilizados en los mensajes digitales enviados entre ordenadores. Permiten que éstos intercambien información de forma fiable y se entiendan entre sí. El formato de los mensajes es el lenguaje común que utilizan para entenderse y crear servicios de envío de información. El conjunto de protocolos de una red de datos junto con otras especificaciones adicionales suele denominarse arquitectura de la red.

Para definir con mayor precisión los nuevos protocolos, se definieron dos tipos de servicios:

- Protocolos con un servicio orientado a conexión (de circuitos virtuales): simulan la red telefónica en el mundo digital. Deben establecer un circuito o conexión entre dos extremos antes de enviar paquetes con información de forma fiable a través del circuito.
- Protocolos con un servicio sin conexión (de datagramas): simulan el correo postal en el mundo digital. Envían cada paquete de información independientemente de los demás. Todos los datagramas deben llevar la dirección del destinatario y del remitente para poder enrutarlos en los nodos de la red. Este servicio transporta la información más rápido, pero no garantiza ni su integridad ni la ausencia de errores.



Encaminador (router) de paquetes o mensajes de una red de conmutación de paquetes por almacenamiento y envío.

En los inicios hubo mucho debate sobre qué era mejor, datagramas o circuitos virtuales. Internet se definió con niveles horizontales, asignando una función diferente a cada nivel. Es un diseño modular donde los cambios en un nivel no deben afectar al resto. La evolución de la red ha demostrado que los datagramas son más apropiados en algunos niveles; y, en otros, los circuitos. La arquitectura ISO se definió con siete niveles. Y otras tenían unos números parecidos. Pero la arquitectura de Internet es muy pragmática y contempla solo cuatro niveles, de los cuales sólo dos eran necesarios para asegurar la interoperabilidad; aunque a nivel de aplicación también se necesite compatibilidad de aplicaciones. Fue un

enfoque muy pragmático, que permitió centrar sus actividades en los problemas fundamentales, como la interconexión de redes incompatibles.

El primero es el nivel de enlace que conecta los ordenadores y *routers* a las diferentes redes físicas de paquetes que los comunican entre sí. También suele garantizar que los paquetes de información se intercambian correctamente y sin errores entre los extremos de una red física. Este nivel equivale a los 2-2,5 primeros niveles de OSI, los niveles físicos, de enlace y de subred. Incluye las distintas redes de paquetes existentes entonces, que debían poder conectarse a Internet sin modificaciones. Fue una decisión muy acertada que permitió incorporar a Internet las redes existentes en el momento inicial, así como las nuevas redes a medida que aparecían.

Siempre ha habido multitud de redes físicas diferentes y algunas de ellas tienen una enorme complejidad. Pero todas ellas han podido incorporarse a medida que aparecían. Inicialmente se trataba de líneas de comunicación con sus módems de datos, de redes radio o satélite, o de redes ethernet con transceptores de conexión a cable coaxial. Hoy disponemos de redes locales de cable con conmutadores ethernet (o *bridges*) que conectan los equipos en nuestras casas y oficinas. También contamos con complejas redes y cables de envío de datos de tipo metropolitano o de larga distancia, tanto terrestres como submarinos, basadas en fibra óptica, en radio o láser; o las redes ADSL, las redes radio como la WIFI, la red celular para teléfonos móviles, las redes satélite tipo Starlink de SpaceX; etc.

El nivel dos o entre-redes (Internet en inglés) está basado en el protocolo IP (Internet Protocol), que da nombre a la red. Es parte de la arquitectura TCP/IP de interconexión y debe estar soportado en todos los ordenadores conectados a Internet. Este nivel permite interconectar las distintas redes físicas, unificándolas en una única red. Es un nivel orientado a datagramas, que admite pérdidas y que encamina los paquetes a través de las distintas redes hasta su destino, utilizando complejos protocolos de encaminamiento (o routing) que no describimos aquí. IP es muy escalable y ha permitido a Internet crecer hasta su enorme tamaño actual, a base de añadir nuevas subredes utilizando *routers*.

El nivel tres es el nivel de transporte de información que utilizan los programas, ejecutándose en distintos ordenadores conectados a Internet, para intercambiar información. Es parte de la arquitectura TCP/IP de interconexión y debe estar soportado en todos los ordenadores conectados a Internet. El nivel de transporte cuenta con dos protocolos que proporcionan dos servicios diferentes: TCP (*Transmission Control Protocol*) [TCP 25] orientado a conexión y UDP (*User Datagram Protocol*) [UDP 25] orientado a datagramas. Los programas y aplicaciones utilizan la interfaz de sockets para realizar dichos intercambios a través de cualquiera de los dos servicios. Últimamente ha aparecido el protocolo QUIC [QUIC 25], como una aplicación sobre UDP, que transporta información más eficazmente que TCP y está sustituyéndolo. El nivel tres da conectividad extremo-a-extremo con el objetivo de independizar la programación de aplicaciones de la estructura de la red, de forma que toda la inteligencia de las aplicaciones esté en los extremos, facilitando así la innovación en la creación de nuevas aplicaciones y servicios.

El nivel cuatro o de aplicación al principio sólo estaba restringido a hacer un uso correcto de la interfaz de sockets. Esta gran libertad facilitó enormemente la experimentación con nuevas aplicaciones y servicios, llevando a la aparición de la variada oferta de protocolos y servicios de la Internet actual. Estos servicios incluyen el email con los protocolos SMTP, IMAP o POP3, el DNS o la versión segura DNSSEC, el protocolo telnet de terminal virtual o SSH que introduce seguridad, TLS, la Web con los protocolos HTTP y HTTPS, WebSockets, MQTT, WebRTC, HLS, etc.

Desde la aparición de la Web, Internet pasa a ser sobre todo una red de acceso a contenidos y servicios a través del protocolo HTTP y de la plataforma Web, donde primero el navegador y luego el móvil se han convertido en los dispositivos de acceso mas importantes de los usuarios a la red. También han aparecido infinidad de dispositivos autónomos y sensores que se comunican a través de la red. La mayoría del tráfico corresponde a transacciones HTTP y a cargas de video o de grandes ficheros, para los que ha sido necesario crear un subnivel de distribución eficiente de contenidos.

El gran incremento de eficiencia que se consigue al paquetizar los mensajes y la información, unido al hecho de que la tecnología electrónica permite digitalizar cualquier tipo de información (multimedia, voz, video...) de forma muy eficiente, ha permitido que las redes de paquetes y en especial Internet se haya convertido hoy en la red que se utiliza de forma mayoritaria para acceder a la información. Incluso la voz en conversaciones telefónicas o las transmisiones de radio y televisión se envían hoy en gran medida a través de redes IP.

La conmutación de paquetes y el desarrollo de ARPANET

Leonard Kleinrock [Kleinrock 62 y 10] [Vea 13] [Leiner 97] desarrolla su tesis doctoral en el MIT y la defiende en 1962. En su tesis desarrolla modelos de redes de conmutación de mensajes utilizando teoría de colas, que son aplicables a redes de paquetes, aunque todavía no se denominen así. Este trabajo estudia el almacenamiento y envío, la multiplexación estadística y otras técnicas, demostrando que las redes de conmutación de mensajes transportan más eficientemente el tráfico de datos que la conmutación de circuitos. En 1963 se traslada a UCLA (University of California Los Angeles), pero sus ideas se empiezan a propagar por el MIT y por otras instituciones.

Paul Baran había propuesto, de forma independiente, la conmutación de bloques de bits de tamaño fijo en 1964 desde el laboratorio RAND de la fuerza aérea de EEUU [Baran 02] [Vea 13], pero sus trabajos quedan ahí y sólo son descubiertos años después. Este investigador propone utilizar una red de paquetes (aunque no los denomine así) para una red militar de voz que pudiese sobrevivir a la destrucción de varios de sus nodos en caso de ataque nuclear. Es esta propuesta la que dio origen al mito según el cual Internet se creó con el objetivo de poder sobrevivir a un ataque nuclear.

Las redes de conmutación de paquetes nacen, sobre todo, como respuesta al reto lanzado por J. C. R. Licklider, cuando en 1962 le nombran director del programa ARPA (Advanced Research Project Agency) de investigación en ordenadores. Propone crear una red de acceso a ordenadores situados en lugares remotos, denominada la «Red Galáctica» [Leiner 97] [Roberts 78] [Vea 13]. El objetivo principal es crear una solución barata para que los usuarios puedan acceder, desde lugares remotos, a los costosos ordenadores de entonces. Los ordenadores empezaban a proliferar en EEUU y estaban muy infrautilizados, porque todos los investigadores pedían siempre un ordenador en los proyectos de investigación que solicitaban a ARPA y que luego sólo utilizaban puntualmente.

Este reto es el que lleva a una serie de proyectos ARPA, en los cuales se desarrollan los primeros experimentos sobre conmutación de paquetes. Estos proyectos realizan contribuciones técnicas muy brillantes que llevan a la creación de ARPANET primero y luego de Internet.

El reto de Licklider lleva también a Donald Davies, pionero inglés, a proponer la conmutación de paquetes por almacenamiento y envío [Davies 01] para resolver el reto de Licklider [Vea 13], en un *workshop* en Washington hacia 1964. Davies no sólo propone el término «paquete», sino que además pone en marcha, junto con Roger Scantlebury y otros, una maqueta de conmutación de paquetes en NPL (National Physical Laboratory) hacia 1968 en el Reino Unido.

Larry Roberts [Roberts 78] [Vea 13] [Kleinrock10] realiza su tesis en el MIT. Al finalizar se interesa tanto por el reto de Licklider como por las teorías de Kleinrock, además de muchos otros temas. En 1965 construye, junto con Thomas Merrill, la primera red de datos experimental de larga distancia, que conecta un ordenador en el MIT con otro en California a través de una línea telefónica [Leiner 97].

En 1966 Larry Roberts es nombrado coordinador de los proyectos informáticos de ARPA para desarrollar la red Galáctica de Licklider. Planifica el desarrollo de ARPANET durante 1967 como una serie de proyectos ARPA. En 1969 se pone en marcha un primer núcleo de la red, aunque Steve Crocker no finaliza el desarrollo del protocolo NCP de ARPANET hasta 1970. Larry Roberts está considerado el padre de ARPANET.

Un equipo liderado por Robert Kahn se encarga del desarrollo de los nodos de la red, denominados IMPs (*Interface Message Processors*) en la empresa BBN,

El primer nodo se instala en UCLA por el equipo de Leonard Kleinrock en septiembre de 1969. En UCLA se despliega también la función de medición de tráfico de la red. Vinton Cerf, Jon Postel, Steve Crocker y otros pioneros empezaron en UCLA con Kleinrock. Tanto el propio Kleinrock como sus ideas son enormemente influyentes en ARPANET.

El segundo nodo se instala un mes después en SRI (Stanford Research Institute) donde estaba Douglas Engelbarts; y se envía el primer mensaje de ARPANET desde UCLA a SRI. Los nodos estaban conectados a través de líneas de datos proporcionadas por ATT de 50Kb/s, una velocidad altísima entonces. Elisabeth Feinler se encarga de crear en SRI el Centro de Información de la Red, donde se empiezan a almacenar las primeras RFCs, las tablas de direcciones de *hosts* y otras informaciones.

Poco después se instalan los nodos de UCSB (Universidad de California Santa Barbara) y Universidad de Utah. A finales de 1969 ARPANET tiene 4 nodos. Gracias al fuerte soporte económico del programa ARPA, ARPANET no sólo se construye en un tiempo récord, sino que en abril de 1971 cuenta ya con 23 nodos.

ARPANET está considerada por muchos la primera red operativa basada en conmutación de paquetes, aunque según varios pioneros [Vea 13] otras redes como SITA o TYMNET entraron en servicio más o menos al mismo tiempo. En cualquier caso, es innegable que ARPANET, que está en ese grupo inicial, resulta la más influyente y es, sobre todo, la que finalmente se transforma en Internet.

El boom de las primeras redes de datos: la Torre de Babel

El éxito de la conmutación de paquetes y de ARPANET en particular, crea un enorme boom de nuevas redes de datos en los años siguientes [Roberts 78] [Vea 13] [Kleinrock10], tales como:

- La red SITA para transporte aéreo, que migra muy tempranamente de conmutación de mensajes a conmutación de paquetes.
- La red radio Aloha en Hawai, desarrollada por Norm Abramson, donde aparece por primera vez el protocolo CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) para acceso compartido a un bus radio.
- La RETD (Red Especial de Transmisión de Datos) de Telefónica, que es la primera en ofrecer un servicio comercial de paquetes.
- La red TYMNET para acceso interactivo a ordenadores en EEUU.
- La red de área local Ethernet, desarrollada en Xerox PARC por B. Metcalfe y D. Boggs, con el protocolo CSMA/CD que tanta influencia ha tenido.
- La red PUP (*PARC Universal Packet*) desarrollada en Xerox PARC, también por B. Metcalfe, que ya desarrolla conceptos de interconexión de redes.
- Las normas para X.25 del CCITT, como base para las futuras redes de los operadores de Telecomunicación.
- La red SNA, desarrollada por IBM (International Business Machines) para interconectar sus equipos.
- La red DECNET, desarrolla por DEC (Digital Equipment Corporation) para interconectar sus equipos.
- La red DSA, desarrollada por UNIVAC para interconectar sus equipos.
- La red CYCLADES en Francia, de tipo experimental. Louis Pouzin es el primero en utilizar el concepto de datagrama para denominar los paquetes independientes no asociados a un circuito virtual, que son similares a envíos postales.
- Las redes UUCPNET y USENET/EUNET, creadas por las asociaciones de usuarios de UNIX para dotar de email a los sistemas UNIX.
- La red HEPNET/FAENET, patrocinada por el CERN para dar servicios de red a la comunidad de física de altas energías.
- La red BITNET/EARN, patrocinada por IBM para dar servicios de email y otros en sus ordenadores.
- Las redes de usuarios tipo BBS (*Bulletin Board Systems*) como FIDONET y otras.
- Y así muchas más.

Prácticamente todas estas redes eran incompatibles y necesitaban pasarelas para comunicarse entre sí, por lo que se empieza a hablar del problema de la Torre de Babel en las

redes de datos. Las pasarelas son como traductores entre los distintos lenguajes que hablan los diferentes protocolos de los distintos ordenadores.

Antes de ARPANET ya existían formas primitivas de email. Por un lado, las redes de conmutación de mensajes o la telegrafía son precursores del email. Por otro lado, estaban los ordenadores de tiempo compartido, que permitían enviar mensajes electrónicos de la cuenta de un usuario a la de otro usuario en el mismo ordenador; y había algún otro precedente mas [EMAIL 25].

Ray Tomlinson [Ray 25] está considerado el creador del email de ARPANET por haber enviado el primer email en esta red con un programa de email que había desarrollado en 1971. Este programa envía emails de una cuenta de usuario en un ordenador a otro usuario en otro ordenador, utilizando direcciones que separan con la @ el nombre del usuario del nombre del ordenador. Aunque el principal objetivo inicial de ARPANET no era soportar email, sino el acceso a ordenadores remotos, el email creado por Tomlinson lleva a crear en 1975 un servicio de email definido por la RFC-680, que obtiene un gran éxito y se convierte rápidamente en el principal motor del uso de ARPANET y de muchas otras redes, incluida la primera Internet.

Estas redes suelen ofrecer además otros servicios muy interesantes, como terminal virtual para acceso remoto a ordenadores, transferencia de ficheros o transacciones remotas. En aquel entonces todavía no existía la Web; y, cuando ésta aparece en los 90, se convierte en el motor de la enorme expansión que Internet ha experimentado hasta hoy.

En España debe resaltarse que, de forma muy pionera, Telefónica inaugura ya en 1971 su RETD (Red Española de Transmisión de Datos) con los protocolos RSAN [Infante 02]. La RETD fue especificada y desarrollada por Telefónica en ordenadores de UNIVAC Y HoneyWell. Jesús Manjarrés, Santiago Herrera, Ignacio Angulo y José María Vázquez Quintana llevaron el tema por parte de Telefónica, e Ignacio Vidaorrázaga desde UNIVAC. Es la primera red comercial a nivel mundial basada en conmutación de paquetes, que ofrecía servicios transaccionales a terceros, principalmente bancos. Tuvo un gran éxito.

Esta enorme efervescencia de las redes de datos lleva a publicar en 1975 la primera versión de la norma X.25 por parte del CCITT/ITU, la organización que desarrolla las normas para los operadores de telecomunicación, también conocidos como PTTs (*Post, Telegraph and Telephone Operators*). X.25 define la arquitectura con un servicio orientado a conexión, que deberá regir la creación de las nuevas redes de datos ofrecidas por los operadores de telecomunicación, como fue IBERPAC de Telefónica o TRANSPAC de France Telecom.

Telefónica vuelve a ser pionera. En 1978 comienza el desarrollo del equipo TESYS A, un nodo de conmutación de paquetes que entra en operación en 1982 soportando primero los protocolos RSAN de la RETD. TESYS es el acrónimo de Telefónica, Secoinsa y Sitre, las tres empresas que participan en su desarrollo. En 1985 incluye soporte para el protocolo X.25 del CCITT/ITU [Infante 02], utilizándose en el despliegue de la red IBERPAC. En su desarrollo participaron Ignacio Vidaorrázaga, Jesús Manjarrés, Tomás Castro, Francisco Puig, Carlos Martínez, Julio Lasheras, Santiago Herrera, Luis Lavandera, Mariano Medina, Rafael Díaz Vega y muchos otros. En 1988 comienza el desarrollo del TESYS B utilizando avanzados circuitos integrados diseñados a medida y multiproceso. El desarrollo se realizó en la Dirección de Sistemas de Telefónica I+D, que dirigía Antonio Golderos y en él participaron Eliseo Sánchez Trasobares, Juan Dato, Francisco Golderos, Hector Urroz y Rodrigo Lujo, Jesús Barbero y muchos otros. A los pocos años Telefónica cambia su política industrial y el desarrollo no finaliza.

En Europa hay que destacar también el servicio comercial MINITEL, lanzado en 1982 por la PTT francesa, con enorme éxito. Llega a tener millones de usuarios en 1990, pero el boom de Internet, que ofrece muchos más servicios, lleva a su declive hasta que el servicio se cierra en 2012.

Curiosamente Naciones Unidas había declarado 1983 como Año Mundial de las Comunicaciones unos años antes, viendo la importancia que las redes de telecomunicación y en especial las redes de datos iban a tener en el futuro. Y ese año ocurrieron dos hitos fundamentales, que entonces pasaron bastante desapercibidos. El primero fue el nacimiento de Internet como red operativa el 1 de enero de 1983 [Vea 13] [Leiner 97], cuando ARPANET sustituyó el protocolo NCP por TCP/IP en todos sus ordenadores. El segundo hito es el nacimiento de la telefonía móvil celular el 13 de octubre de 1983. Ese día se realiza la primera llamada móvil a través de la red celular AMPS desplegada en el área de Chicago, en la cual el presidente de Ameritech llamó al nieto de Alexander Graham Bell [Cardinal 22]. Ambos hitos marcan el nacimiento de las dos grandes redes de las que disponemos hoy en día, la Internet cableada y la red celular de acceso móvil, que entonces transportaba sólo voz analógica, pero que hoy permite también el acceso a Internet.

Una ola de nuevas redes de paquetes llega a España en 1985. Telefónica lanza ese año su red IBERPAC basada en X.25, que permite comunicaciones de datos nacionales e internacionales. Asimismo, otras dos redes empiezan a operar ese año. Son la red FAENET, que conecta la comunidad de altas energías española y el CERN; y la red EARN, promovida por IBM para disponer de email en sus ordenadores. La red RICA en Andalucía también da sus primeros pasos, desplegando DECNET, XODIAC y redes locales interconectadas a través de X.25. En la ETSIT-UPM se realizan los primeros despliegues de Internet que se conectan a su email a través de EUNET. Por último, el Ministerio de Educación y Ciencia publica ese año la definición del programa IRIS [IRIS 85], que lleva a la creación de RedIRIS en 1988.

El mundo UNIX y sus redes: UUCPNET, USENET, EUNET...

Muchos desarrollos de redes se realizaron en el sistema operativo UNIX creado en los Bell Labs de ATT (American Telephone and Telegraph) hacia 1970 [UNIX 78] por Ken Thompson y Dennis Ritchie. Durante los años setenta y ochenta, UNIX se hizo enormemente popular primero en las universidades americanas y luego en otros países, gracias a su facilidad de uso y al hecho de que incluía el código fuente. La aparición a finales de los 70 de BSD UNIX (Berkeley Systems Development) [BSD 25], basado en una licencia muy permisiva de SW libre, aceleró mucho su difusión al permitir su distribución gratuita con muy pocas restricciones.

En 1976 se crea el programa UUCP (*UNIX to UNIX Copy Program*) en Bell Labs [Hauben 98] para copiar ficheros (de distribuciones, datos, email...) entre sistemas UNIX utilizando módems y líneas telefónicas. Este programa se utilizó para crear las primeras redes de distribución de nuevas versiones, email o ficheros entre sistemas UNIX. UUCP lleva a las primeras redes de email entre sistemas UNIX; primero UUCPNET, seguida de USENET, y luego EUNET en Europa. Estas redes fueron coordinadas por las asociaciones de usuarios de UNIX y eran conocidas inicialmente como la «ARPANET o Internet de los pobres», porque daban acceso barato a su email, su servicio mas demandado.

La red USENET [Hauben 98] [Vea 13] se crea en 1979, utilizando UUCP para dar servicio de email con el formato y los protocolos de mensajes de ARPANET (RFC 733, 821, 822 ..) y *news* (unos foros primitivos). USENET se conecta al email de ARPANET a través de Universidad de California Berkeley y de otros nodos. Así entra a formar parte de la gran comunidad email de ARPANET, que utiliza la arroba («@») para separar el nombre de usuario de la dirección de dominio del servidor de email.

En 1981 se crea Sendmail [Sendmail 25], el programa que uniformiza el envío de emails de un nodo de correo a otro, utilizando TCP/IP, UUCP, X.25 u otra conectividad. Cuando ARPANET se transforma en Internet, en 1983, este servicio de email sigue funcionando y creciendo. En 1984 ya había 940 servidores de email conectados y hoy es el email que todavía seguimos utilizando a través de los muchos millones de servidores de email desplegados.

La rama europea de USENET, denominada EUNET [Mañas 89], se despliega en 1982 en Europa incluyendo 4 países: RU, Países bajos, Dinamarca y Suecia. España se conecta a este dominio de email al conectarse a EUNET a finales de 1985, cuando se instala el primer nodo español en el DIT de la ETSIT-UPM, para disponer de email en los primeros proyectos europeos.

El sistema operativo BSD UNIX se distribuía con código fuente y además tenía una licencia de SW libre que permitía usos comerciales. A principios de los ochenta aparecen estaciones de trabajo basadas en UNIX, entre las que destacan las de la empresa SUN Microsystems (Stanford University Networks) creada en 1982. Los productos de SUN gozaron de un enorme éxito y en aquellos años fueron posiblemente el principal vehículo de diseminación, tanto del sistema operativo BSD UNIX como de TCP/IP. Fueron también los que permitieron el primer despliegue de una red TCP/IP en España: en 1985 llegaron sus primeros equipos

a España, dos estaciones y un servidor. Muchos protocolos de Internet se desarrollaron primero para BSD UNIX y luego se portaron a otros sistemas.

Sin embargo, el uso de BSD UNIX que más impacto ha tenido es el que hizo Steve Jobs para crear la estación de trabajo NeXT en 1985, al ser expulsado de Apple. Apple reutilizó ese desarrollo cuando Steve Jobs se reintegró y desarrolló el sistema operativo OSX de los ordenadores Mac lanzados en 2001. El sistema operativo de NeXT era una adaptación de BSD UNIX, que fue adaptado a los ordenadores Mac y luego al iPhone o al iPad, donde la semilla de BSD UNIX sobrevive todavía.

Este impacto sólo es comparable al que posteriormente tuvo Linux, que fue creado por Linus Torvalds [Torvalds 25] en 1991 como un proyecto de SW libre con el que transformó el kernel MIMIX creado por Andrew S. Tannenbaum como soporte a su libro sobre sistemas operativos. Lo creó para tener una versión libre de UNIX System V de ATT, del que únicamente existían versiones de pago. Linux no sólo es el sistema operativo que utilizan la mayoría de servidores de Internet, sino que es el sistema operativo a partir del cual se desarrolló Android y por lo tanto pervive también en miles de millones de teléfonos móviles.

El modelo ISO – OSI e ITU/CCITT

Dado el desorden existente, la organización ISO (International Standards Organization), encargada de producir normas de ámbito global, propone en 1980 definir una arquitectura de red de datos denominada modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) [OSI 25], que permitiese conectar las redes existentes, y que además estuviese acordada por todos los países. El modelo ISO-OSI recibió el apoyo de prácticamente todos los países y organismos internacionales, incluido el del gobierno de EEUU. La organización ITU/CCITT se encargaba de crear las normas utilizadas por los operadores de telecomunicaciones. Durante los años ochenta y noventa se produjo un enorme esfuerzo por parte de muchos gobiernos, así como de muchas empresas, centros de investigación y universidades por desarrollar las normas de los protocolos de modelo ISO de OSI e implementarlos.

Los intentos de poner en marcha redes alineadas con los protocolos de ISO-OSI, complementados con algunas normas ya desarrolladas por ITU/CCITT, no tuvieron mucho éxito. Ofrecían unas prestaciones y una usabilidad inferior. Para ello se utilizaron las primeras implementaciones de OSI, conocidas como ISODE [ISODE 25] [Tomás 89], pero su rendimiento resultaba peor y muchos ordenadores no tenían soporte.

A principios de los ochenta el CCITT/ITU desarrolla también la norma de RDSI [RDSI 25] [Decina 86]. Es una Red Digital de Servicios Integrados, que debía convertirse en la troncal de las redes de datos de los operadores. RDSI se basaba en conmutación de circuitos digitales que transmitiesen voz, datos y video. La RDSI fue desplegada por muchos operadores, pero no tuvo éxito. Era menos eficiente que la conmutación de paquetes en el transporte de datos.

En 1988 ITU/CCITT propone tanto *Frame-Relay* como RDSI-BA [RDSI-BA 25]. Ambas fueron ofrecidas comercialmente hasta que fueron desplazadas por Internet. RDSI-BA fue una versión mejorada de la norma RDSI adaptada a las comunicaciones de banda ancha que empezaban a aparecer asociadas a los primeros despliegues de fibras ópticas. Los nodos para crear redes RDSI-BA eran conmutadores ATM [ATM 25], una nueva tecnología de conmutación de alta velocidad.

Telefónica vuelve a ser pionera en 1988 con el Proyecto RECIBA, en la que fue su última gran aventura tecnológica. El objetivo del proyecto era construir un demostrador de RDSI-BA [Ancochea 96], desarrollando algunos componentes clave. Incluía un conmutador ATM a 800 Mb/s para conmutar líneas de 155 Mb/s y 622 Mb/s, además de diversos servicios de usuario. El proyecto realiza importantes desarrollos tecnológicos por los que Pedro L. Chas y Alfonso Vicente recibieron el premio de investigación de AHCiet en 1994. El proyecto RECIBA terminará poco después.

El nacimiento de Internet

Robert Kahn comienza a trabajar en 1972, al llegar a DARPA, en el desarrollo de lo que denominaba «*the internetting concept*», una arquitectura de interconexión de redes. Enseguida empieza a colaborar con Vinton Cerf en la solución a este problema. En 1974 publican el artículo [Cerf 74] que define los requisitos iniciales para el desarrollo del protocolo IP y de la pila TCP/IP, que empieza a desarrollarse, con la colaboración de muchos otros pioneros [Leiner 97] [Vea 13] [Sanz 97]. El 22 de noviembre de 1977 se realiza su primera validación real al interconectar exitosamente ARPANET con la red radio de la bahía de San Francisco y una red satélite en el Atlántico. Bob Kahn y Vinton Cerf están considerados por ello los padres de Internet.

Entre los trabajos precursores de Internetting, aunque no lo denominasen así, destacan el trabajo pionero sobre datagramas realizado por Louis Pouzin y Gerard Le Lann en la red Cyclades en Francia [Vea 13] y también la red PUP [Vea 13] desarrollada por Bob Metcalfe en Xerox PARC.

La red CSNET (Computer Science Net) [CSNET 25] [Vea 13] marca también un hito importante en el camino del despliegue de Internet en EEUU. Esta red se desarrolla en un proyecto de investigación coordinado por Larry Landweber que arranca en 1981. Lo financió NSF (National Science Foundation) de EEUU. Su objetivo era extender los servicios de datos a los departamentos de informática de las universidades de EEUU, que todavía no tenían acceso. Para ello desarrollan arquitecturas de conexión a Internet, que incluyen acceso a través de las redes existentes, como X.25, módems telefónicos o emuladores de terminal X.29/X.25. CSNET desarrolló muchos protocolos que facilitaban el acceso a Internet a través de las redes existentes.

El 1 de enero de 1983 está considerada mayoritariamente como la fecha de nacimiento operativo de Internet [Leiner 97] [Vea] 13 [Sanz 97]. Es la fecha en que todos los ordenadores de ARPANET arrancan con la pila de protocolos TCP/IP recién instalada. Todos los ordenadores de ARPANET se apagan la noche anterior, sustituyen el protocolo NCP de ARPANET por TCP/IP y se vuelven a arrancar.

A partir de ese momento es sencillo añadir nuevas redes a este primer núcleo, sólo hay que añadir un *router* IP entre ambas y configurarlo. CSNET es una de las primeras en hacerlo, pero también se van conectando muchas más.

En esa misma época aparece el DNS (*Domain Name System*) [Mockapetris 87] [Vea 13] creado por Paul Mockapetris en 1983. Es el servicio que permite dar nombres simbólicos a los ordenadores de Internet. El DNS comienza a funcionar en 1985, permitiendo que los ordenadores de Internet utilicen nombres, como amazon.com o etsit.upm.es, en vez de direcciones IP de 32 bits, como 198.23.56.212.

La versión 4.2 de BSD UNIX, aparecida en 1983 [BSD 25], incluye por primera vez la interfaz de sockets, una interfaz para diseño de aplicaciones distribuidas a través de TCP/IP y otros protocolos. Esta interfaz simplifica mucho el desarrollo de aplicaciones distribuidas en Inter-

net, por lo que enseguida se generaliza su uso y es hoy la interfaz normalizada para programar aplicaciones sobre la pila TCP/IP de Internet. Normalmente se denomina pila TCP/IP al paquete SW que implementa los protocolos TCP, UDP e IP, junto con la interfaz de sockets, que permite crear aplicaciones para Internet. Las redes del nivel físico se conectan a través de manejadores (drivers) que utilizan una interfaz normalizada con IP.

La interfaz de sockets permite programar aplicaciones, tanto con circuitos virtuales TCP (similares a los circuitos telefónicos), como con datagramas UDP (similares a los envíos postales). Disponer de estas dos alternativas a nivel de transporte ha facilitado mucho la evolución de las aplicaciones.

El servicio TCP (*Transmission Control Protocol*) [TCP 25] se orienta a conexión y permite establecer circuitos virtuales entre cualquier par de ordenadores de Internet, para que luego se produzca intercambio bidireccional de información entre ambos. Durante las primeras fases de Internet, la mayoría de los servicios (el email, terminal virtual, transferencia de ficheros o la Web) utilizaban TCP.

El servicio UDP (*User Datagram Protocol*) [UDP 25] es sin conexión y permite enviar datagramas entre ordenadores de Internet, sin necesidad de establecer circuitos virtuales previamente. Resulta más inseguro, pero más rápido y ligero que TCP. Además, permite varios tipos de envío: *unicast* (envío a un solo destinatario), *multicast* (envío a un grupo) o *broadcast* (envío a una subred). UDP se diseñó para soportar servicios, como voz y video sobre IP; o para servicios muy específicos como el DNS (*Domain Name System*) o NTP (*Network Time Protocol*). Pero también ha servido para facilitar la evolución de Internet. Por ejemplo, la norma de HTTP3 se publica en 2012 y en ella se propone utilizar QUIC en vez de TCP en las conexiones HTTP. QUIC implementa un servicio orientado a conexión sobre UDP, que no sólo es más rápido y eficaz, sino que las conexiones creadas pueden ser seguras sin necesidad de capas adicionales, como necesita TCP. Hoy TCP está siendo sustituido masivamente por QUIC.

La primera razón del éxito de Internet fue sin duda su madurez como arquitectura de interconexión de redes. Podía añadir nuevas subredes simplemente con un encaminador, denominado también *router*. Internet funcionaba cuando las demás redes o no estaban listas u ofrecían menos valor añadido. Pero esto sólo no hubiese bastado.

Otro factor importante para el éxito de Internet fue su independencia de los fabricantes. Además, utilizó muy frecuentemente SW libre sin patentes. Esto reducía los costes, tanto de despliegue como de corrección de errores o de desarrollo de nuevos servicios. Estos proyectos de SW libre crearon una enorme comunidad de desarrolladores y usuarios que desarrollaban y probaban nuevas aplicaciones o nuevo SW de protocolos para X.25 o para módem telefónico (PPP, SLIP o UUCP).

La eficacia de la interfaz de sockets para crear nuevas aplicaciones sobre TCP/IP también contribuyó a su éxito. Esta interfaz permitía crear, desplegar y probar nuevos servicios de usuario con gran facilidad, sin interferir con el funcionamiento de la red, creando así un efecísimo ecosistema de innovación en este area. Si el servicio tenía éxito y el desarrollador lo permitía, otros usuarios podían descargarlo, instalarlo y usarlo. Entre estos servicios destaca la aparición de la Web en 1990, que provocó el gran boom de Internet.

Para que este ecosistema funcionase, también fue crucial que tanto ARPANET primero como Internet después tuviesen un marco de gobernanza abierto y muy ágil. Este tipo de gobernanza la crearon sus diseñadores y sus primeros usuarios [Cerf 95] [Vea 13] [Leiner 97]. Las RFCs (*Requests For Comments*) se utilizaban como referencia para definir todos

los aspectos de la red, tanto técnicas, como organizativas o administrativas. Steve Crocker crea la primera RFC en 1969.

IANA (Internet Assigned Numbers Authority) [IANA 16] se crea hacia 1972 para ordenar la asignación de direcciones y otros identificadores. Jon Postel, otro de los pioneros de Internet, es su coordinador desde el principio hasta su desaparición, al crearse ICANN en 1998.

En 1979 Vinton Cerf, entonces gestor en ARPA, crea ICCB [IAB 02], que es sustituido por IAB (Internet Advisory / Activities / Architecture Board) en 1984 [IAB 02], en cuyo marco se crea IETF (Internet Engineering Task Force) en 1986. Es en el marco de IETF donde se generan a partir de entonces las RFCs que definen sus protocolos y demás aspectos de la red. Las reglas de participación en este ecosistema son mucho más abiertas que en los organismos de normalización tradicionales, como ISO, UIT, CCITT o IEC.

Por ejemplo, para conectarse a Internet sólo había que firmar un compromiso de buen comportamiento. Existía gran libertad para proponer nuevos protocolos y servicios. El ecosistema de innovación de ARPANET/INTERNET era enormemente eficaz y aceleró mucho el desarrollo de nuevos protocolos y servicios, que resolvían con rapidez los retos que la red presentaba en cada momento.

Todo esto proporcionó a Internet ese enorme dinamismo frente sus competidoras, que desde el principio la llevó a desplazar progresivamente a las demás redes, hasta crear la enorme red de redes que actualmente nos interconecta a todos.

NSFNET consolida Internet como una alternativa comercial en EEUU

NSFNET (National Science Foundation Network) es el proyecto que consolida Internet como una gran red de telecomunicaciones, de gran escalabilidad y capaz de integrar operativamente actores públicos y privados. Se crea en 1985 bajo la dirección de Dennis Jennings [Vea 13] [NSF 85]. NSF encarga a Jennings crear una red que conecte los grandes centros de supercomputación de EEUU con los investigadores en las universidades. Jennings acepta y propone desarrollar NFSNET en base a los siguientes principios:

- Debía ser una red de propósito general y no sólo de acceso a los supercomputadores.
- Debía tener una troncal que conectase centros de supercomputación con redes regionales y debía estar estructurada en niveles: nacional, regional y campus.
- Debía utilizar TCP/IP, así como los procedimientos de IAB (Internet Architecture Board) de DARPA.

Estos principios llevan a diseñar NSFNET como una red jerárquica con diversos niveles (o *Tiers*) [NSFNET 25], que integra redes de diversa procedencia a través de intercambiadores de tráfico, que son los precursores de los actuales IX (*Internet eXchange points*). Los IX acaban convirtiéndose en servicios comerciales independientes. Los intercambiadores permiten conectar a NSFNET los primeros proveedores comerciales de EEUU que estaban apareciendo entonces. De esta forma, se valida que Internet pueda estructurarse de forma jerárquica y escalable, para poder crecer y alcanzar el tamaño de las otras grandes redes de Telecomunicación.

La fibra óptica irrumpe entonces en las comunicaciones y NSF financia la actualización de la red troncal (*Tier 1*) que une las redes regionales entre sí. La troncal de primer nivel utiliza en 1986 líneas de 56Kb/s, que pasan a 1,5 Mb/s en 1990, a 45 Mb/s en 1991, etc.

Durante el desarrollo de NSFNET aparecen los primeros proveedores comerciales de servicios de datos en EEUU [NSFNET 25]. A partir de 1989 NSFNET permite que se conecten servicios comerciales de email, tales como MCI Mail, Telemail de Telenet, OnTyme de Tymnet o Compuserve. En 1995, cuando NSFNET se disuelve, los proveedores comerciales de Internet son ya una realidad, que conectan tanto a organizaciones como a particulares.

En aquellos años se deshace el monopolio de Bell Systems en EEUU y aparecen también las Baby Bells [BabyBells 25] ofreciendo servicios de Internet. Todo esto consolida Internet como una potente alternativa comercial en EEUU.

1985: un año intenso en España

En 1985, varias redes de datos comienzan a operar en España. Telefónica lanza su red IBERPAC basada en X.25. FAENET/HEPNET, promovida por el CERN, también comienza a operar, así como EARN/BITNET, promovida por IBM; la red RICA en Andalucía o el despliegue de TCP/IP, con su conexión a EUNET, realizados en la ETSIT-UPM. FAENET y EARN parece que habían hecho algunos despliegues preliminares en 1984, pero no es hasta 1985 cuando inician su despliegue operativo.

El Ministerio de Educación y Ciencia publica la definición del programa IRIS [IRIS 85] también en noviembre de 1985. Este documento da inicio a un proceso que lleva en 1988 a la creación de RedIRIS, la red académica y de investigación española.

En 1985, Telefónica lanza la red IBERPAC, la red pública de transmisión de datos por conmutación de paquetes X.25, que ofrece un servicio de circuitos virtuales que cubre toda España. Es la red que el CCITT/ITU recomienda desplegar a las operadoras. Los nodos de la red son equipos TESYS A. TESYS es el acrónimo de Telefónica, Secoinsa y Sitre, las tres empresas que han participado en su desarrollo. A partir de ese momento las empresas que utilizaban los servicios de la anterior RETD empiezan a migrar a la nueva red, especialmente los bancos. Las universidades y redes académicas empiezan también a utilizarla. IBERPAC va a jugar un papel importante en el despliegue de las redes académicas que se está gestando en España.

HEPNET es una iniciativa impulsada por el CERN desde 1980, que en España tomó el nombre de FAENET [Mollinedo 89] [Sanz 90] [Camacho 90] [Vea 13] [IRIS 1985]. En España, la comunidad de físicos de altas energías convoca múltiples reuniones preparatorias que llevan a iniciar el despliegue de FAENET hacia 1985 gracias al trabajo de personas como Antonio Mollinedo y Jesús Sanz de las Heras en el CIEMAT, Iñaki Martínez y Ángel Camacho en la Universidad de Cantabria, Rogelio Montaña en la Universidad de Valencia o Enrique Fernández y Andreu Pacheco en la Universidad Autónoma de Barcelona. Posteriormente se unen la red RICA y las Universidades de Zaragoza, la Autónoma y Complutense de Madrid o la de Santiago. Su arquitectura se basaba en DECNET, su objetivo era interconectar también, a través de pasarelas, otras redes, como HEPNET en el CERN, BITNET/EARN, X.400, EUNET o Internet, para poder comunicar con toda la comunidad de física de altas energías. Las pasarelas de interconexión de todas estas redes se desplegaron en el CIEMAT.

Además, estaba BITNET, creada en 1981 en la City University de Nueva York, con el patrocinio de la empresa IBM con el objetivo de dotar de email y otros servicios a sus ordenadores. El email de BITNET utilizaba también la arroba («@»), como separador, aunque el formato de sus direcciones era diferente al de Internet. La red se basaba en los protocolos RSCS/NJE (Remote Spooling Communications Subsystem/Network Job Entry) de IBM. Estos protocolos se portaron también a ordenadores Vax de DEC con VMS y UNIX.

BITNET arranca en Europa en 1984 con el nombre de EARN (European Academic Research Network) con el patrocinio IBM que cubre el coste de las líneas de datos. A España llega en 1985 [Campos 89] [Vea 13] [IRIS 1985]. En su despliegue participaron personas como Josep

María Blasco y Miguel Ángel Campos en la Universidad de Barcelona. Carlos Otermin y Paula Barrera en la UPM, Rogelio Montañana en la Universidad de Valencia y otros. EARN nace con 2 nodos principales conectados entre sí. Uno en el centro de cálculo que IBM tenía en la Universidad Autónoma de Madrid y otro en la Universidad de Barcelona. El primero estaba conectado con un nodo en Roma y el segundo con otro nodo en Montpellier. Durante los primeros años IBM cubría el coste de las conexiones de EARN, pero las universidades tuvieron que hacerse cargo del coste de las líneas hacia 1988.



Jose Luis Huertas (izq.) y Santiago Sanchez (3º por la der.) en Sevilla en 1984.
Fuente Gustavo Sanchez, que no sale porque hizo la foto.

La Junta de Andalucía comienza el despliegue de la red RICA en 1985 para conectar tanto sus centros universitarios como los múltiples institutos del CSIC, o los observatorios astronómicos de Calar Alto, y del Veleta o el Real Observatorio de la Armada. José Luis Huertas, Gustavo Sánchez y Santiago Sánchez impulsan desde el CICA (Centro de Informática Científica de Andalucía) los despliegues de DECNET, XODIAC y redes locales interconectadas con X.25 [Sánchez 89] [Vea 13], realizados por la red RICA a partir de 1985. La red RICA se conecta a FAENET en 1987 y a partir de ese momento tienen conectividad mundial a través del CERN.

USENET era una red coordinada a través de los grupos de usuarios de UNIX en EEUU que daba servicios de email y *news* entre servidores UNIX. Se trataba de una red que seguía la RFC822 de Internet, pero utilizaba UUCP y módems telefónicos para reducir el coste de conexión, en vez de conectividad IP. Había comenzado su despliegue en Europa en 1982 con el nombre de EUNET [Mañas 89] [Vea 13] [IRIS 1985] y comienza también su despliegue en España en 1985 en el DIT-ETSIT-UPM, desplegada por el autor y Fernando Fournón, junto con Juan Riera, Juan Viñas, Ángel Álvarez y otros, para disponer de un email eficaz y barato de desplegar, facilitando así la participación en proyectos europeos. José A. Mañas se incorpora en 1986 y se convierte en su gran impulsor a partir de entonces.

El Ministerio de Educación y Ciencia español publica en noviembre de 1985 el documento que define el proyecto IRIS [IRIS 1985] [López 98], acrónimo de Interconexión de Recursos InformáticoS. Su objetivo es desarrollar una red académica española alineada, tanto con ISO-OSI como con el entorno europeo.

Este informe es el resultado del convenio que la Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia, y FUNDESCO (Fundación para el Desarrollo Social de las Comunicaciones, de Telefónica) habían firmado en 1984 para la definición de una red que facilitase el acceso a los grandes centros de cálculo españoles desde universidades y centros de investigación. En el marco de este convenio se crea una comisión coordinada por FUNDESCO para definir el programa IRIS (Interconexión de Recursos InformáticoS) compuesta por: Pedro Blesa (U.P. Valencia), Francisco Trigueros (U. Málaga), Carlos Codina (MEC), Salvador Fernández (CSIC), Emilio Losantos (Telefónica), Juan Riera (U.P. Madrid), Rafael Díaz (Telefónica), Manel Medina (U.P. Barcelona), Fernando Toledano (ENTEL), Francisco Ros, director de promoción tecnológica de FUNDESCO, y José Barberá (FUNDESCO).

TCP/IP y el email de Internet (EUNET) llegan a España

En 1985 España se preparaba para entrar en la Comunidad Económica Europea, y algunos profesores del Departamento de Ingeniería Telemática (DIT) de la ETSI de Telecomunicación (ETSIT) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) necesitábamos el email. Íbamos a empezar a trabajar en los primeros proyectos europeos del programa ESPRIT que llegaban a España. Ángel Álvarez, entonces profesor en la Facultad de Informática de UPM, había realizado una estancia con una beca Fullbright en EEUU; y había vuelto siendo un ardiente defensor del sistema operativo UNIX y de las redes de servidores UNIX que se estaban creando allí.

Influido por Ángel Álvarez, el autor de este artículo tomó la iniciativa de desplegar estas redes para evaluar su utilidad. Algunas personas las denominaban la «Internet de los pobres», por su bajo coste de despliegue y por seguir la RFC822 de Internet/ARPANET. Fernando Fournón acababa de incorporarse al grupo al volver del servicio militar y su primera tarea fue la instalación del nodo de EUNET (European Unix NETwork) que daba acceso al email de Internet. EUNET era la rama europea de USENET. Dado que aquél era el primer nodo español de EUNET, se adquirió el compromiso de dar acceso a otros nodos españoles. En este despliegue también contribuyeron puntualmente Juan Riera, Joaquín Seoane, Juan Viñas o Juan Carlos Tejedor.



Manuel Sierra, director de la ETSIT; Guillermo Cisneros, Rector de UPM; y el autor en la inauguración del demostrador del primer despliegue en 2023

El nodo de EUNET se integró en la primera red local TCP/IP desplegada en España con el objetivo de extender el email. Era una red local ethernet de sistemas de SUN Microsystems, que acababa de llegar en el proyecto «*Protocol Verification and Validation*» con la empresa

INTELSA/Ericsson, que llevábamos el autor y Gonzalo León, junto con Tomás de Miguel, José Rivero, Inma Pindado y algunos de los anteriormente mencionados.

El resultado de la prueba fue todo un éxito. Era fantástico disponer de email en la cuenta de trabajo del servidor donde uno trabajaba. La solución resultaba barata y flexible, porque estaba soportada con programas de SW libre en la mayoría de nuestros ordenadores. El modelo ISO-OSI era la arquitectura en la que todos estábamos trabajando entonces, pero este nuevo email, que llegaba directamente a nuestras cuentas de trabajo, demostró inmediatamente su utilidad y su uso se extendió rápidamente por el departamento.

En la ETSIT ya había en 1985 un terminal del ordenador IBM del Rectorado a través del cual se podía acceder a la red EARN. Ahora bien, se trataba de un terminal compartido por muchas personas, que estaba en otro edificio (al que había que desplazarse para consultar el email) y además utilizaba direcciones y comandos largos y crípticos.

La forma de llegar del *software* de EUNET al DIT es muy ilustrativa de aquella época en que todavía Internet no permitía descargarse archivos voluminosos y el SW se debía transportar físicamente en cintas magnéticas. En una reunión de RARE en Bruselas, Piet Bertema, del CWI en Ámsterdam, le entregó una cinta magnética con el SW a Juan Antonio Saras, investigador del DIT-ETSIT-UPM, que había acudido a representar a España.

El nodo de la ETSIT se conectaba a EUNET a través del nodo de CWI en Ámsterdam, que era el nodo central europeo. Creemos que el servicio empezó a operar hacia el 2 de diciembre de 1985 y fue entonces cuando se envió el primer email de Internet. A partir de esta primera semilla comienza el despliegue de Internet y de TCP/IP en España [Pérez 18] [Vea 13] [Quemada 18, 19, 24], aunque no cubriese todavía todos sus servicios.



Juan Antonio Martínez Castaño realizando una demo de envío de un email con ordenadores de 1985, durante la inauguración.

El primer nodo de EUNET se instaló en un servidor Intel A310 con procesador 8086 y S.O Xenix, denominado Castor, que no se conserva. Este servidor llegó a principios de 1985 como parte de un proyecto de colaboración con el National Bureau of Standards de EEUU,

dirigido por Joan Vinyes y Enrique Vazquez, en el que se desarrolló el protocolo TP-4 de la pila OSI-ISO mediante especificación formal de protocolos con autómatas extendidos en ESTELLE y se validó sobre la primera conexión entre las redes X-25 de España y EEUU. Este servidor se conectaba al nodo de Ámsterdam con un modem de 1200 bps y utilizaba el teclado Fujitsu con la pantalla alfanumérica Secoinsa 8500, que todavía se conservan en el demostrador inaugurado el 20 de junio de 2024 en el Museo de Historia de las Telecomunicaciones Jorge Serna de la ETSI Telecomunicación de UPM, que conmemora esta primera conexión.

Este despliegue era una forma barata de disponer de subredes IP, en las que se disponía de los dos principales servicios de Internet, el email y las *news*, sin necesidad de contratar las costosas conexiones requeridas para tener conectividad IP. Las subredes IP se desplegaban en organizaciones y campus universitarios donde se podía instalar sin problema cable coaxial, líneas punto a punto o fibra óptica. La conexión al email a nivel de aplicación utilizaba directamente los formatos del email de Internet definidos en las RFC 822. Utilizaba el programa Sendmail que podía intercambiar mensajes con otros nodos a través de módem telefónico y UUCP, X.25 o TCP. Era un tipo de despliegue bastante habitual debido a su bajo coste, hasta que aparecieron otras formas de conectarse a Internet.

Este email surgió en ARPANET. Internet lo heredó y todavía lo utilizamos hoy con pequeñas actualizaciones. Utilizaba las direcciones basadas en la arroba («@») que identificaban al usuario y el dominio donde estaba alojado su buzón, aunque en las fases iniciales se utilizaron también los formatos de UUCPNET, como ...!...!goya!pepe, en algunas partes de la dirección.

TCP/IP y EUNET se extienden por España

Juan Riera, entonces director del recién creado DIT (Departamento de Ingeniería Telemática) de la ETSIT-UPM, promueve en 1986 con el apoyo del MEC la sustitución del primer nodo por otro de mayor capacidad, denominado Goya, para permitir la extensión del servicio a otras Universidades y Centros de Investigación. Fernando Fournón instaló el nuevo nodo Goya y lo administró hasta que dejó la universidad a finales de 1986.

El nodo Goya se montó en un servidor más potente, un SUN 3/160, con módems telefónicos más rápidos, de hasta 9600 bps, para que otros nodos o investigadores españoles pudiesen acceder. Goya seguía funcionando igual, establecía conexiones telefónicas con el nodo europeo en Ámsterdam, para intercambiar el tráfico de emails entre España y el extranjero. Ahora no sólo podía atender a los usuarios locales, sino que también podía aceptar llamadas de otros nodos españoles, con los que intercambiar emails cuando llamaban.

Al principio hubo bastantes investigadores externos que solicitaron cuentas directamente en el servidor Goya. Accedían a su cuenta de email en Goya con un módem y un programa de terminal virtual.

José Antonio Mañas llegó en 1986 al DIT de la ETSIT-UPM y pasó a llevar todos los temas relacionados con el email. A partir de entonces se involucró muy intensamente y se convirtió en el gran impulsor de la expansión de EUNET en España. Los primeros dominios españoles (xx.es) de DNS se empiezan a crear hacia 1988 por José A. Mañas, en coordinación con el servidor de DNS desplegado en FUNDESCO por el programa IRIS. Los dominios eran necesarios para las direcciones de email e instalar servidores de EUNET. Los primeros se creó que fueron *upm.es* para la universidad y *dit.upm.es* para el DIT y para el servidor Goya.

SUN fue un importante vehículo de despliegue de redes IP, porque sus servidores se conectaban a las estaciones de trabajo a través de una ethernet con TCP/IP. Los sistemas SUN del DIT fueron las primeras en llegar a España. Cuando llegaron, los vendedores brindaron con nosotros para celebrar su primera venta en nuestro país. A partir de entonces Abengoa y otras empresas españolas empezaron a distribuir estaciones SUN, llevando a otros despliegues de IP.

Hacia finales de 1985 o en 1986, José Luis Huertas, Gustavo Sánchez y Santiago Sánchez Solano desplegaron IP en la Universidad de Sevilla, para conectar estaciones SUN, que habían adquirido a Abengoa, con un VAX con el sistema operativo Ultrix, una adaptación de BSD UNIX realizada por DEC.

En la Universidad de Cantabria Iñaki Martínez y Ángel Camacho también despliegan TCP/IP hacia 1986-87 en el marco de sus despliegues relacionados con FAENET.

En Telefónica I+D, Emilio Losantos y Juanjo Padilla desplegaron entonces sistemas SUN, redes IP e incluso un nodo de EUNET. Y así en otras empresas y universidades.

En 1986-7 León Vidaller lidera un proyecto CICYT de infraestructura en el que se despliega una red ethernet en la ETSIT-UPM. Fernando Reymundo, de la empresa UNITRONICS, despliega el cable ethernet IEEE 802.3 10Base5 de la primera ethernet, en los edificios A y

B de la ETSIT-UPM. La conexión entre los edificios A y B debe realizarse con un enlace repetidor de fibra óptica FOIRL que conectaba los 2 segmentos de ethernet. El proyecto incluyó además una conexión láser a 9600 bps con el rectorado de UPM, que entonces empezaba a evaluar TCP/IP. En el equipo de León Vidaller estaban Ángel Fernández, Antonio Martínez Mas, Carlos Miguel Nieto y Alfredo Villalobos. Este despliegue es la primera ampliación de la red IP inicial y permitió que otros departamentos de la ETSIT se empezasen a conectar. En el edificio B de la ETSIT-UPM todavía quedan algunos tramos del cableado original de esta red, un cable amarillo 10base5 (la tecnología inicial de ethernet) en el techo de los pasillos.

La conexión láser la desplegó el equipó del Departamento de tecnologías fotónicas, que lideraba José Antonio Martín Pereda, e incluía a Francisco López Hernández, José Manuel Otón y Manolo Betancourt. El enlace láser entre la ETSIT-UPM y el Rectorado de UPM necesitaba un punto intermedio en la ETSI de Caminos para tener visibilidad directa entre emisores y receptores láser. Para este enlace se utilizaron unos módems desarrollados por la empresa TELDAT, que se acababa de crear.

El proyecto RUNET continua el despliegue de IP entre 1988 y 2000, ya dentro del programa IRIS. El proyecto extiende el núcleo inicial IP de la ETSIT, a los centros de cálculo de UPM, de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y del CIEMAT, con una red con 4 *routers* de Cisco Systems, como nodos. El nodo central está en el DIT y el Rectorado de UPM se conecta con el enlace láser ya existente. Para conectar la UCM y el CIEMAT, dada la proximidad geográfica, se tienden fibras ópticas dedicadas a este propósito. El proyecto lo lidera León Vidaller y en él participan Ángel Fernández, Antonio Martínez Mas y Carlos Miguel Nieto por el DIT-UPM. El proyecto lo llevan además Juan Miguel Márquez y Manuel Hernández Urrea en UCM, Antonio Mollinedo y Jesús Sanz de las Heras en el CIEMAT, y Carlos Otermin y Paula Barrera en UPM.

Este proyecto permite que tanto UPM como UCM desplieguen poco después troncales IP con todos sus centros. Estas troncales se utilizan para dar conectividad IP y para encapsular otros protocolos; como, por ejemplo, los de terminal remoto de IBM.

A partir de 1988, EUNET también empieza a crecer con instituciones y grupos que se conectan tanto a través de la red IP, como de módem y UUCP, normalmente para soportar la participación en proyectos europeos [Mañas 89] [Vea 13]. Los siguientes servidores en UPM parece que fueron disam.upm.es, de Miguel A. Salichs y Eugenio Andrés Puente en la ETSII-UPM; y gti.upm.es, de Narciso García Santos en la ETSIT-UPM. En 1988 se llega a 23 nodos. Están en UPC, UPV, UVA, UCM, US y otras, el CIEMAT se conecta para establecer pasarelas con otras redes, o en empresas como Telefónica I+D, el Centro de Cálculo de Sabadell, Entel, Eria, y otros. UUCP se sustituyó por X.25 en cuanto ARTIX y el servicio IP de RedIRIS estuvo disponible.

En paralelo con estos despliegues técnicos, en 1990 se crea UUES, la Asociación de Usuarios de UNIX en España, con José Antonio Mañas de presidente y Javier Romañach de secretario. Ángel Álvarez, Juan Antonio Esteban y otros se encuentran entre sus patronos. La asociación se crea para dar cobertura a las personas, organizaciones y despliegues relacionados con EUNET. En el momento de su creación contaba con 51 afiliados entre los que se encontraban grupos de universidades y empresas en Barcelona, Bilbao, Burgos, Eibar, Madrid, Málaga, Valencia, Valladolid, Vigo y Vitoria.

También en 1990, cuando la RED ARTIX y su conexión internacional entran en operación, el nodo Goya y su subred IP se conectan al router de Amsterdam, por TCP/IP encapsulado sobre X.25, independientemente de la conexión para Sideral de RedIRIS. El objetivo de esta

conexión era inicialmente la transferencia del email de goya, aunque luego se utilizó también para otros propósitos. Esta conexión la desplegaron José Antonio Mañas, José Rivero, José Luis Jiménez e Ignacio Rivera desde el DIT y Piet Bertema por parte del CWI de Amsterdam. Debió de realizarse al mismo tiempo o poco después que la de Sideral. También se contrató hacia finales de 1991 una línea de datos punto a punto de 64 Kbps entre el DIT y el CWI de Amsterdam para mejorar la eficiencia utilizando IP nativo (sin encapsular).

El nodo Goya del DIT-ETSIT-UPM fue el nodo español que suministro el servicio de email a universidades y centros de investigación españoles desde 1985 hasta principios de los años noventa. Es entonces cuando RedIRIS y Goya Servicios Telemáticos empiezan a gestionar el servicio de email. A RedIRIS se transfiere la gestión del tráfico del mundo académico e investigador y a Goya el del mundo comercial.



Foto de grupo en la Inauguración en 2023 (de izquierda a derecha): J. Berrocal, F. Fournón, J. Seoane, J. Quemada, M. Sierra, G. Cisneros, F. Ros, J. Barberá, J. Riera, A. Álvarez, M. Pérez Subías, M. A. Sanz, A. Veá

Nace RedIRIS: España se conecta a la Internet global

La publicación de la definición del programa IRIS [IRIS 85] en 1985 por parte del Ministerio de Educación y Ciencia inicia un proceso liderado por FUNDESCO y el MEC que involucra a múltiples universidades y centros de investigación, y que lleva a la creación de RedIRIS en 1988.

Europa ya se había planteado el despliegue de las redes académicas y de investigación [IRIS 1985] [López 98], conocidas como NRENs (National Research and Education Networks). JANET en el Reino Unido y UNINETT en Noruega eran probablemente las más avanzadas y estaban operativas. UNINETT incluso utilizó equipos Telsys con X.25 de Telefónica. Sin embargo, la mayoría de países europeos estaba aún definiendo o comenzando a desplegar sus NRENs.

El programa europeo ESPRIT promueve la creación de RARE (Reseaux Academiques y de Recherche Europeens). RARE se constituye formalmente en junio de 1986 y crea un marco de colaboración para que los representantes de las distintas redes académicas europeas alineen el desarrollo de sus NRENs. Los primeros representantes españoles fueron Francisco Ros por FUNDESCO y Ramon López de Arenosa por el MEC [López 98].

RedIRIS nace en 1988 [Barberá 98]. Su gestión se asigna a FUNDESCO y José Barberá es su primer director. En 1988 también arrancan múltiples proyectos IRIS financiados por el Programa Nacional de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (PRONTIC). Estos proyectos están específicamente orientados a la creación de la red académica española. La arquitectura de esta nueva red debía estar alineada con el modelo OSI, algunos de cuyos protocolos estaban todavía en desarrollo. Además, ITU/CCITT había desarrollado normas para los operadores de telecomunicación, como X.25 para redes públicas de datos o X.400 para mensajería electrónica, que también se incluyen como parte de ISO-OSI.

Los proyectos IRIS [Blázquez 89] [Martínez 89] [Montañana 91] abordaron una primera fase de transición hacia OSI, tratando de desarrollar o completar lo que estaba por terminar, pero apoyando también las redes que ya estaban operativas en España, tales como FAENET/HEPNET, EARN/BITNET, EUNET/USENET; etc. Se pensaba que éstas eran soluciones transitorias hasta que el modelo OSI estuviese maduro [Barberá 98] [Riera 89].

Los proyectos del programa IRIS, en colaboración con muchos otros proyectos internacionales, trataron de poner en marcha redes alineadas con ISO-OSI e ITU/CCITT, pero la definición de las normas de OSI así como de sus implementaciones iban demasiado despacio. Si bien ya existían algunas implementaciones de los primeros protocolos de OSI, como las de ISODE [Tomás 89], su rendimiento no resultaba suficiente.

En 1988 Iñaki Martínez, Carlos Blázquez y José Barberá despliegan en FUNDESCO el primer servidor español de DNS y empiezan a crear los primeros subdominios españoles (xx.es). José A. Mañas creó probablemente los primeros subdominios españoles de DNS,

porque eran necesarios para construir las direcciones de email e instalar servidores de EU-NET. En 1989 el dominio *dit.upm.es* ya se utilizaba regularmente en las direcciones de email del DIT.

El email era el servicio más popular y en aquellos años el CCITT desarrolló X.400 [Martínez 89] [Saras 89] como su norma de email y la de X.500 para directorios distribuidos. X.400 se apoyó muy fuertemente en todos los programas españoles y europeos, como alternativa al email de Internet basado en la RFC822. La Universidad de British Columbia desarrolló el software EAN que soportaba tanto el email X.400 como el email según la RFC822. EAN fue muy utilizado para desplegar X.400, así como para hacer pasarelas entre servicios de email. Jesús Sanz de las Heras fue muy activo en el despliegue de pasarelas de email en FAENET [Sanz 90]. Asimismo, se produjeron desarrollos en muchos proyectos europeos [González 89] [Saras 89] como CARLOS, CACTUS o AMIGO, que desarrollaron y desplegaron en España gran cantidad de SW de X.400. El SW fue diseñado y realizado por muchos profesores e investigadores de UPM, como J. A. Saras, A. Lanceros, J. Riera, V. Villagra, J. Berrocal, A. Azcorra, J. Seoane, P. Sandoval o A. Linares, en UPC J. Delgado F. Jordan y M. Medina, y muchos más. Telefónica también desarrolló el servicio Mensatex [Mogín 90] basado en X.400.

Como España y Europa se encontraban muy alineadas con X.25, el programa IRIS desarrolló la red ARTIX – ARTERla X.25 [Berrocal 89] [Sanz 97] para crear subredes X.25, interconectadas a través de IBERPAC. La red ARTIX arranca en 1990 con el nodo central en la ETSIT-UPM desplegado por Julio Berrocal, que lideraba el proyecto, David Fernández, Encarna Pastor y Juan Riera, con otros tres nodos desplegados en la UPC por Manuel Marín, en el CICA por Gustavo Sánchez y en el CIEMAT por Antonio Mollinedo y Jesús Casado. ARTIX disponía de 10 nodos principales en 1993, con extensiones que abarcaban las 17 comunidades autónomas. La red ARTIX se conectaba con otras redes de I+D europeas a través de IXI, la subred X.25 patrocinada por la Comisión Europea para interconectar las



El equipo de RedIRIS en 1993. De izquierda a derecha, Carlos Blázquez, Celestino Tomás, Miguel Ángel Sanz, Susana Gayo, Ignacio de los Mozos, José Barberá, Iñaki Martínez, Clara Álvarez, Felipe García y María Bolado (fuente: José Barberá).

diversas subredes X.25 europeas. ARTIX se conectaba a IXI a través de una línea internacional de 64 Kbps [Blázquez 90].

Ante la falta de madurez del modelo OSI, la madurez de TCP/IP y la presión de las universidades, RedIRIS decide en 1990 lanzar el servicio IP o Sideral (Servicio de Interconexión DE Redes de Área Local), que encapsula TCP/IP sobre X.25. El objetivo de este servicio es interconectar todas las subredes IP aisladas, que ya tenían bastantes universidades. Este servicio proporciona por primera vez conectividad IP global desde España a todas estas subredes. El servicio IP se ofrece a través de la red ARTIX y de la red IBERPAC de Telefónica. Entre 1988 y 1991 se asignaron bloques de direcciones IP públicas a todas las instituciones para que pudiesen conectar sus ordenadores correctamente a la Internet global. La primera asignación fue una clase B (138.4.x.x) asignada al DIT en 1988, que había solicitado José Antonio Mañas a SRI, que gestionaba entonces su distribución.

El servicio IP, desarrollado en el proyecto Sideral, es el primer servicio operativo que ofrece RedIRIS. A partir de este momento y por primera vez en España, ya es posible tener conectividad directa con IP o TCP a cualquier ordenador de Internet. Las pruebas técnicas del servicio IP las realizaron José Barbera e Iñaki Martínez [Martínez 90] [Sanz 97] en septiembre de 1990. Miguel Ángel Sanz fue el responsable técnico del despliegue operativo del servicio que arrancó en marzo de 1991 [Sanz 97] incorporando: CIEMAT, CNM, CSIC, Fundesco, RICA, UAB, UAM, UB, UCM, UPC y UPM.



El equipo de RedIRIS en el CSIC (fuente Víctor Castelo) en 2001. Arriba: Diego López, Esther Robles, Bárbara Oliver, Eduardo Funcia, Jesús Sanz de las Heras, Pedro M. Ruiz, Mari Paz Patiño. Medio: Rodrigo Castro, Teresa, Ana M. Dotor, Eva Prieto, Maribel Cosín, Consuelo Malagón, María Bolado. Abajo: Francisco Montserrat, Antonio Fuentes, Miguel Ángel Sotos, Javier Masa, Víctor Castelo, Sonia Portillo, David

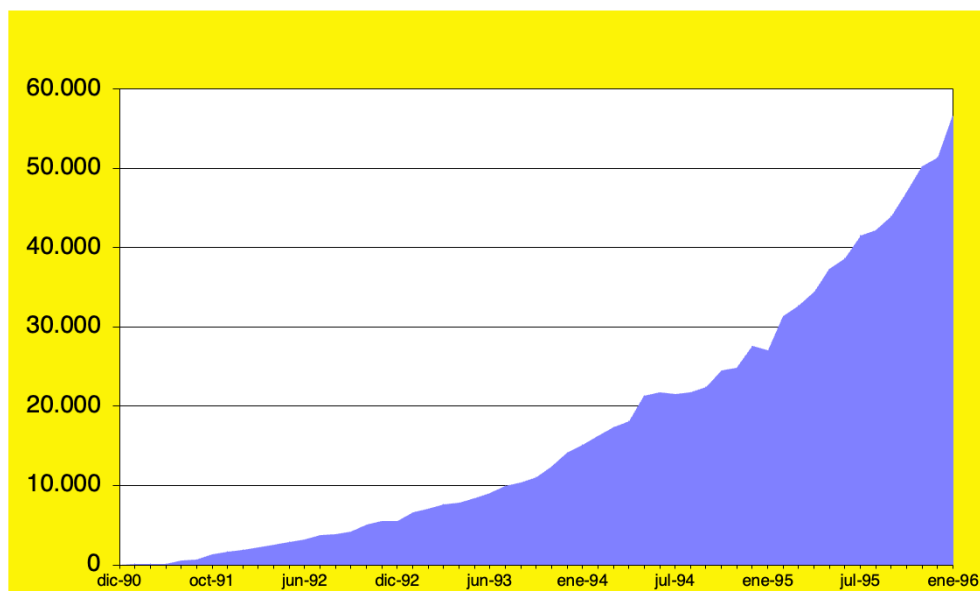
En 1993 la gestión de RedIRIS es asignada al CSIC - Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Su segundo director pasa a ser Víctor Castelo [Castelo 95]. Parte del equipo

anterior pasa también al CSIC. En esta etapa RedIRIS empieza a asumir más funciones, además de dar conectividad IP. Por un lado, se convierte en una gran infraestructura donde los investigadores pueden experimentar con nuevas redes y servicios de comunicaciones en sus proyectos, especialmente en el Programa de Aplicaciones y Servicios Telemáticos del III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, que arranca por entonces. Por otro lado, RedIRIS empieza a proveer también nuevos servicios, como IRIS CERT (comunicaciones seguras), Listserv (listas de correo), *news* (un foro de noticias primitivo), FTP anónimo, Multicast, IPv6, Directorios LDAP, Redes Temáticas (Comunidades Virtuales), Proxy-Cache web, Autenticación y autorización, Multimedia o NTP (tiempo en red).

Durante esta etapa, RedIRIS se empieza a configurar como una red de interconexión con Europa de las distintas redes autonómicas que empiezan a aparecer en España. La red RICA en Andalucía fue la primera en aparecer en los ochenta, y a partir de los noventa aparecen la Anella Científica en Cataluña, RECETGA en Galicia, RediMadrid, I2BASQUE y otras.

TCP/IP aún se consideraba por entonces una solución transitoria para proveer de servicios a la comunidad académica, que se cambiaría por el modelo OSI cuando los muchos proyectos de investigación que todavía desarrollaban sus partes (X.400, X.500, ...) acabasen su labor. Pero la eficiencia del encapsulamiento de TCP/IP sobre X.25 es baja; porque duplica funciones y reduce sus prestaciones. Como el tráfico de RedIRIS empieza a crecer rápidamente, las principales troncales X.25 se van sustituyendo paulatinamente por líneas de datos punto a punto con IP nativo, que tienen mayor eficiencia.

La figura muestra el rápido crecimiento del número de ordenadores conectados a Internet, a partir del momento en que el servicio IP de RedIRIS y los ISPs conectan en una única red las múltiples subredes IP que habían aparecido en España en los ochenta. Internet ha seguido creciendo desde entonces al mismo ritmo.



Crecimiento del número de ordenadores conectados a Internet en España
(fuente: Víctor Castelo)

Las primeras empresas españolas entran en Internet

Con la primera expansión de Internet y de NFSNET, empiezan a aparecer en EEUU empresas fabricantes de equipos relacionados con Internet. Primero aparecen fabricantes de ordenadores que llevan incorporado UNIX y TCP/IP. Por ejemplo, SUN Microsystems se crea en 1982 para vender estaciones de trabajo y servidores de altas prestaciones con el sistema operativo BSD UNIX y TCP/IP incorporado. Asimismo, Convex Computer Corporation se crea en 1982 para vender ordenadores vectoriales de altas prestaciones, también con BSD UNIX y TCP/IP. Cisco Systems se crea en 1984 para fabricar los primeros *routers* de Internet, que aparecen como equipos autónomos fácilmente programables, con soporte multiprotocolo para encapsular protocolos de otros fabricantes a través de IP. Estas tres empresas fueron quizá tres de los casos más significativos de éxito relacionados con el nacimiento de Internet, pero se crearon muchas más.



Equipos SUN del demostrador del primer despliegue de Internet en España, que incluye una subred IP de sistemas SUN conectada al email de Internet a través de EUNET

Los primeros equipos de SUN Microsystems llegan a la ETSIT-UPM en 1985 desde la filial inglesa. Se trataba de una red de estaciones de trabajo sin disco de la serie SUN-2, interconectadas con un servidor de discos duros a través de una red local ethernet con IP que vinieron de Londres. Cuando llegaron, los vendedores brindaron con nosotros para celebrar su primera venta en España. Esta red constituye el primer despliegue operativo español de IP, al que se añade el nodo de EUNET, para disponer en ella de acceso al email de Internet.

A partir de entonces empresas integradoras como Abengoa, Matra o Computervision empiezan a vender equipos de SUN en España, hasta que José Aspas y José Cabrera fundan SUN Microsystems Ibérica en 1989. Los equipos SUN fueron un vehículo de diseminación de Internet y de IP muy efectivo. Por ejemplo, hacia finales de 1985 o principios de 1986 empiezan a desplegar redes ethernet con TCP/IP en la Universidad de Sevilla al comprar estaciones SUN. Desde 1982 tenían un ordenador VAX con BSD UNIX instalado, que José Luis Huertas había traído de su estancia en la universidad de Berkeley, pero no es hasta entonces cuando empiezan a utilizar TCP/IP para comunicarse con las estaciones SUN. En Telefónica I+D también empiezan a comprar equipos SUN y a desplegar redes IP por aquellas fechas. Y lo mismo sucede en otras universidades y empresas.

Si bien España contaba por entonces con grandes empresas del sector de telecomunicaciones, las primeras en entrar en Internet fueron las empresas más pequeñas, como Unitronics, Phaldata, Payma, Abengoa, o Matra. Estas empresas apostaron por vender en España productos que incorporaban o soportaban redes locales ethernet, *routers* IP y otros equipos de Internet. Unitronics instala en 1987 el cableado de la red local Ethernet con la que se realiza la primera expansión de la subred TCP/IP de la ETSIT-UPM. También vende los primeros *routers* Cisco a universidades y a Fundesco, con los que se montan otras subredes IP y el primer servicio IP de RedIRIS.

A finales de los ochenta también aparecen emprendedores españoles en el mundo de Internet, como Antonio García Marcos, que crea TELDAT para fabricar equipos de datos hacia 1986; o Luís Rodríguez Ovejero, que crea CONVEX en 1989 y poco después SATEC para realizar ingeniería y proyectos IT basados en IP. Ambas son hoy grandes empresas con presencia en muchos países.

Los primeros *ISPs*: Goya Servicios Telemáticos, Servicom, .., Infovía, ..

EUNET fue la organización pionera en lanzar servicios comerciales de Internet en Europa. EUNET cambió de UUCP a IP en 1988 y en 1990 decide transformarse en el primer ISP (*Internet Service Provider*) europeo [EUNET 25], empezando a ofrecer servicios comerciales de acceso a Internet. Esto dio lugar a que en muchos países europeos los nodos nacionales de EUNET se transformasen también en ISPs.

El primer ISP español se constituye en diciembre de 1992 y se denomina Goya Servicios Telemáticos. Se funda por un grupo de personas, entre los que están profesores y técnicos que llevaban el nodo Goya de EUNET en el DIT de la ETSIT-UPM. Los principales impulsores fueron José Antonio Mañas y Ángel Álvarez. Juan Antonio Esteban fue el director. Entre sus socios fundadores estaban además José María Rivero, Inmaculada Pindado, José Luis Jiménez, Javier Romañach, Jesús González-Barahona y otros. Goya Servicios Telemáticos fue vendida 3 años más tarde a SEMA Group.

El nodo Goya traslada su operación desde el DIT a la nueva sede de Goya Servicios Telemáticos, donde también se traslada la línea de datos punto a punto de 64 Kbps con el CWI de Amsterdam, que permite tener conectividad IP nativa con la Internet Global. Ofrece a sus clientes tanto conectividad IP para acceso a Internet, como acceso al email a través de modem y UUCP heredado de EUNET.

El segundo proveedor de servicios comerciales de Internet fue Servicom [SERVICOM 22]. Servicom fue creado en 1994 por un equipo de pioneros, cuyo director era Eudald Domech-Riera. Servicom nació con unos planes comerciales muy ambiciosos, proporcionando acceso a EEUU a través de una línea directa de 1,5 Mbps, además de facilitar acceso a servicios de email, faxes, web, grupos de debate y otros. La red de Servicom tenía un diseño basado en una serie de puntos de presencia en varias provincias conectados por líneas de X25 a los que los usuarios accedían con un modem a través de la red telefónica. También daba conexión con líneas punto a punto a algunas empresas. Una vez que la red de Retevisión estuvo desplegada a principios de 1998 su conexión al exterior se encaminó a través de ella. Servicom fue adquirida en 1988 por Retevisión. Actualmente ha pasado a ser parte de Orange.

En 1995 se incrementa la aparición de ISPs, tales como AbaForum, Assertel, Conexis, ComBios, bitMailer, Encomix, Intercom, Internet Campus, RAN Internet, Red Seker y muchos otros. La prioridad de Telefónica era el entorno normativo de las operadoras, que definía ITU/CCITT (que constituían la base de los servicios que comercializaban). Pero estaba expectante y en sus laboratorios se experimentaba con todas las tecnologías existentes y por supuesto con TCP/IP.

En diciembre de 1985, cuando ya existen en España unos 30 ISPs [Vea 02] [Sanz 97], Telefónica se decide a lanzar el servicio Infovía. Vuelve a adelantarse a los demás operadores europeos, que tardaron más en ofrecer servicios de acceso a Internet, dado que entonces todavía promocionaban servicios como Videotex o Minitel.

Infovía es un servicio de acceso universal a Internet a través de un módem de 28Kbps y una línea telefónica. El acceso es a través de un número único (055) y la tarifa es plana. En 2014 se concedió el premio a la trayectoria profesional del día de Internet [Subías 14] a Guillermo Fernández Vidal, Julio Linares, Eliseo Sánchez Trasobares, Juan Dato e Isidoro Padilla como máximos responsables del desarrollo de Infovía, en reconocimiento a la calidad del servicio y a la prontitud en el contexto europeo.

En 1995 aparece también la Asociación de Usuarios de Internet [AUI 25]. Es una entidad sin ánimo de lucro constituida el 5 de julio de 1995, con una Web inicial [AUI 96] que ilustra cómo era entonces la Web.

Los objetivos de la asociación fueron:

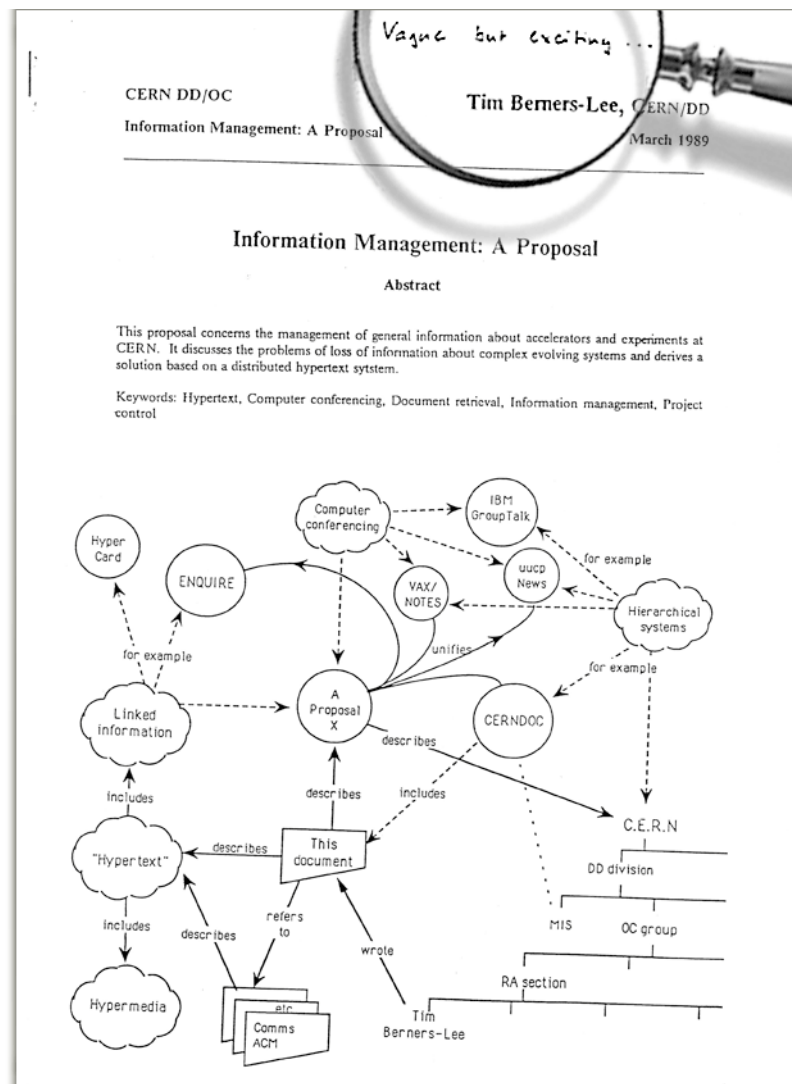
- Promover, sin ánimo de lucro, el desarrollo de Internet, de la Sociedad de la Información y de las Nuevas Tecnologías, así como del equipamiento, aplicaciones, servicios e infraestructuras necesarias para ello.
- Proteger y defender los intereses y los derechos de los Usuarios de Internet y de las Nuevas Tecnologías.
- Fomentar el buen uso de Internet, de las Nuevas Tecnologías y de sus aplicaciones en el hogar, en las empresas y en las Administraciones públicas; tanto para su uso en el ámbito personal como para su uso en actividades profesionales.

Desde entonces ha tenido una fuerte presencia en el mundo de Internet en España tanto a nivel institucional como en la defensa de los usuarios, así como en la promoción de Internet en medios, eventos y otras actividades.

El boom de Internet: la Web nace en el CERN y aparecen los servicios online

Internet necesitaba una aplicación de publicación de documentos que la transformase en la nueva gran «Biblioteca de Alejandría» y a principios de los noventa empiezan a aparecer aplicaciones que tratan de resolver este problema, tales como Archie, WAIS, Gopher, la Web... [HW 94] [Berners-Lee 94] [Gopher 25].

La más exitosa es la Web, creada por Tim Berners-Lee [Berners-Lee 94] [HW 25] [Vea 13] entre 1989 y 2001, mientras trabajaba en el CERN en Ginebra junto con colaboradores como Nicolla Pellow, Ari Loutonen, Henrik Frystyk, Arthur Secret o Robert Calliau. En 1994 se traslada al MIT, donde sigue trabajando muy activamente en su desarrollo.



Propuesta de 1989 de Tim Berners Lee de un sistema hipertexto de gestión de información del que saldría la Web (fuente: Angel Camacho)

La Web es una aplicación de Internet para publicar documentos hipertexto distribuidos que utiliza 2 partes, el navegador y el servidor. El servidor [Server 25] permite publicar documentos en cualquier ordenador de Internet. El navegador o browser [Browser 25] permite visualizar los documentos publicados desde cualquier otro ordenador, siempre que se conozca su URL (*Uniform Resource Locator*). El URL es la dirección que identifica un documento unívocamente en la red. El URL indica el servidor que lo publica y el fichero que lo contiene en ese servidor. HTTP es el protocolo que permite traer el documento del servidor al navegador y HTML el lenguaje para crear documentos o páginas Web. HTML es una simplificación de SGML, un lenguaje utilizado entonces por la industria editorial para libros digitales.

La Web extiende a la red los documentos hipertexto [Hypertext 25], que ya existían como documentos en un solo ordenador. Este tipo de estructura de información con documentos enlazados ya había sido propuesto conceptualmente por Jorge Luis Borges en 1941 o por Vannevar Bush en 1945 con Memex. En los sesenta Ted Nelson y Douglas Engelbert desarrollan los primeros prototipos y a finales de los ochenta ya existían documentos hipertexto en ordenadores como Macintosh o NeXT. La Web de Tim Berners Lee extiende el hipertexto a la red. Los hiperenlaces de HTML enlazan documentos publicados en cualquier ordenador de Internet, que se pueden visualizar haciendo clic.

El primer navegador, denominado «*WorldWideWeb*», y el primer servidor, denominado «CERN httpd», se desarrollaron en un proyecto denominado «Hypertext and CERN». Tim Berners Lee y sus colaboradores los desarrollan en un computador NeXT. El código desarrollado en este primer proyecto se publica como SW libre en 1991, y enseguida empiezan a desarrollarse otros programas servidores o navegadores. El servidor «NSCA httpd» aparece en 1994 y el proyecto Apache empieza en 1995 [server 25]. También aparecen nuevos navegadores como MidasWWW, ViolaWWW, Lynx o NSCA Mosaic [browser 25]. La Web desplaza rápidamente a las demás aplicaciones de publicación de documentos, especialmente a Gopher, que disfrutó de cierto auge al principio.

La Web despierta enseguida una enorme expectación, y Marc Andreessen [Andreessen 25] y James Clark fundan en 1994 Mosaic Communication Corporation, que en 1995 lanza la versión comercial de Mosaic con el nombre de Netscape Navigator y con mucho éxito. En 1996 lo usan el 75% de los usuarios de la Web. Viendo la importancia del navegador, Microsoft reacciona e incluye su navegador Internet Explorer 1.0 en Windows 95, sin coste adicional. Así empieza la primera guerra de navegadores [BWar 25] [Browser 25]. El éxito de Windows 95 permite a Microsoft desplazar a Netscape. En 2001 el 90% de acceso a la Web se hace a través de Internet Explorer.

La instalación de servidores tiene lugar de forma totalmente descentralizada. Un servidor Web se instala sin pedir permiso a nadie. Una vez instalado el servidor, los documentos que se añaden quedan publicados automáticamente en Internet. Tim Berners-Lee instala el primer servidor en la máquina info.cern.ch [CERN 25]. Además, crea un registro administrativo en el CERN para tratar de reflejar todos los servidores instalados. Sin embargo, como es opcional, queda rápidamente desactualizado.

El primer servidor español registrado en la lista del CERN lo instaló Jordi Adell [Molist 02] en 1993. Parece ser que Ángel Camacho ya había instalado otro en la Universidad de Cantabria que no se registró [Vea 13]. Ángel Camacho había estado trabajando para Tim Berners-Lee en el CERN durante 1988-89, creando la librería CATS para RPC (*Remote Procedure Call*) mientras realizaba su tesis doctoral. En UPM Tomás de Miguel y Joaquín Seoane [Vea 13] también instalaron servidores en aquella época.

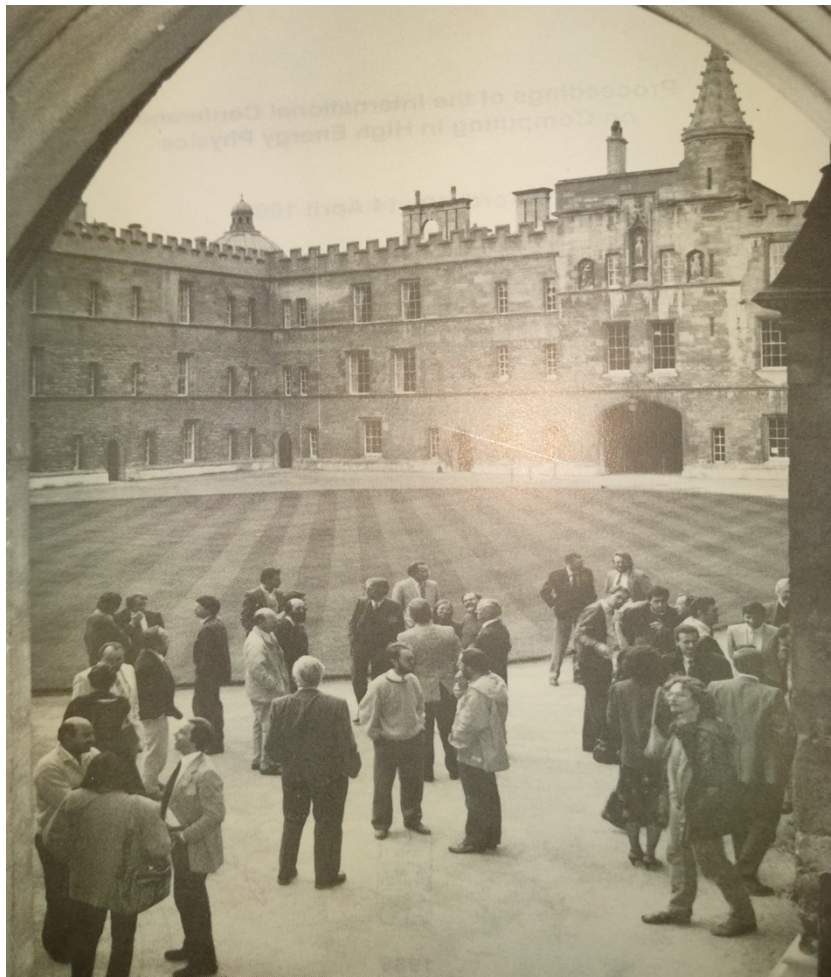


Foto «Donde está Wally» de la reunion en la Universidad de Oxford en 1989, donde están Angel Camacho y Tim Berners Lee presentaron un artículo sobre Delphi, en los años anteriores a la Web (fuente: Angel Camacho)

El enorme interés despertado por la Web lleva a Tim Berners-Lee a trasladarse al MIT, donde ayuda a fundar el W3C (World Wide Web Consortium) [W3C 25] en 1994. El W3C se crea con el apoyo del MIT, la Comisión Europea y DARPA, para tratar de coordinar el desarrollo de los futuros estándares de la Web. Las empresas más importantes de Internet se unen al W3C. Los primeros estándares se habían desarrollado en el marco de IETF, pero el escenario resultaba ahora más complejo y los promotores del W3C consideran que es necesario crear un nuevo marco para generar los estándares de la Web.

La Web inicial propuesta por Tim Berners-Lee [Berners-Lee 94] es una aplicación de publicación de documentos hipertexto en Internet; abierta, descentralizada y muy escalable. Tiene una arquitectura con un enorme potencial de creación de servicios, y tanto Tim Berners-Lee como muchos otros se ponen inmediatamente a trabajar en las extensiones necesarias para el desarrollo de nuevos servicios online.

Los cinco componentes de la Web son: clientes, servidores, HTML, HTTP y URLs. Estos cinco componentes se empiezan a enriquecer enseguida [Browser 25] [server 25]. HTML se enriquece con elementos gráficos, con formularios para envío de datos, que permiten crear los servicios online que todavía hoy manejamos como si navegásemos por hipertexto y con

muchas otras mejoras. HTTP se enriquece con nuevas primitivas de envío de datos al servidor. Los servidores se hacen además programables y se conectan a bases de datos donde se almacenan los datos que envían los formularios. El servidor «NSCA httpd» ya es programable en 1994 y permite crear los primeros servicios online. También aparecen enseguida las conexiones seguras y otras mejoras. Las enormes posibilidades que ofrecen estos nuevos servicios online despiertan rápidamente el interés de las empresas y de la sociedad en general.

Todas estas mejoras se empiezan a utilizar inmediatamente. El comercio electrónico [Timeline 25] ya había aparecido antes de Internet y, probablemente por eso, las tiendas online son de las primeras en llegar a la Web. En EEUU aparece Amazon en 1994, como una tienda de libros online; y en 1995 aparece eBay. Más adelante aparecerían muchas otras.

Enseguida surgen los buscadores de información [SE 25], como Yahoo, Magellan, Excite o Google algo más tarde. También aparecen los wikis, donde Wikipedia es la referencia. Los foros de discusión sustituyeron a las *news* y a las listas de distribución, que habían empezado a proliferar. También aparecen portales para crear páginas personales como Geocities, Tripod o Angelfire. Éstos preparan el camino para la gran explosión del software social, que ocurre a partir del 2000 con la Web 2.0, la Blogosfera y las redes sociales.

La primera tienda electrónica española es Barrabes.com [Sotelo 25], creada por los hermanos Barrabés en 1995. Es un canal de venta online complementario a la tienda de deportes de alta montaña existente en Benasque (Huesca), que tiene un enorme éxito a nivel mundial. Ese mismo año abre la tienda online de «La Casa del Libro». La primera gran empresa en entrar en el mundo online fue «El Corte Inglés» ya en 2001.

El tráfico de transacciones HTTP pasa rápidamente a ser mayoritario en Internet, desplazando al email, que había sido el motor de crecimiento hasta entonces. La relevancia de un servidor empieza a medirse por el número de transacciones HTTP que atiende; y Google, Amazon o las redes sociales empiezan a convertirse rápidamente en los más visitados.

En un breve espacio de tiempo, la Web llega a ser la aplicación más importante de Internet. La Web genera tráfico IP, igual que aplicaciones tradicionales como el email, el ftp o el terminal virtual. Éstas siguen utilizándose, pero el tráfico IP de las aplicaciones Web enseguida comienza a ser mayoritario.

La fibra óptica trae la Internet de Banda Ancha

El boom de las nuevas redes de datos y de Internet en los noventa crea una necesidad cada vez más acuciante de líneas de datos que transporten la información a mayor velocidad. En los noventa arranca una ola de nuevas tecnologías de comunicación cada vez rápidas que revolucionan el mundo de las redes digitales. Están basadas tanto en fibra óptica, en par trenzado o en comunicaciones de radio como la WIFI. Estas tecnologías reducen enormemente el coste del ancho de banda. Los operadores crean también las redes mundiales de fibra óptica, primero con la jerarquía digital plesiócrona [PDH 25] y luego con la jerarquía digital síncrona [SDH 25] que transportan información a enormes velocidades a través de cables terrestres y submarinos.

También entra en Escena la conmutación ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). ATM es una nueva tecnología de conmutación de paquetes propuesta por ITU/CCITT para crear redes de banda ancha, conocida como RDSI-BA (Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha). Es el último intento de desplazar a Internet que realizan las operadoras de telecomunicación. ATM y RDSI-BA se utilizan durante unos años, fundamentalmente para transportar tráfico IP. De todos modos, ATM también termina desplazado por los *routers* y redes IP, que aumentan su ancho de banda de igual manera.

En este contexto aparece la aplicación Isabel [ISABEL 96]. Isabel permite interconectar auditorios y realizar grandes eventos distribuidos utilizando las primeras infraestructuras de banda ancha. Su desarrollo comienza en 1992 en el proyecto Isabel, un proyecto de infraestructuras de banda ancha entre España y Portugal en el que participaban Telefónica I+D, el CET en Aveiro y el DIT de la ETSIT-UPM. La primera versión operativa de Isabel se finalizó en 1994 en el proyecto europeo IBER del programa RACE para la escuela de verano ABC94 (Advanced Broadband Communication 94) [ABC 95], ABC95 conectó cinco auditorios en España, Portugal y Suiza en los que se podía participar como ponente o como asistente. El desarrollo de Isabel estuvo a cargo de un grupo de profesores del DIT, junto con un amplio grupo de investigadores que fue cambiando a lo largo de los muchos años en que se utilizó. Entre los profesores se encontraban el autor, Tomás de Miguel, Arturo Azcorra, Santiago Pavón, Joaquín Salvachúa, Gabriel Huecas, Tomás Robles y David Larrabeiti. El grupo de investigadores incluyó entre otros a Manuel Petit, Cesar Sánchez, José Ignacio Moreno, Elena Apolinario, Juan Mariano Goyeneche, Eva María Castro, Héctor Velayos, María José Perea, Vicente Sirvent, Carlos Barcenilla, Javier Cerviño, Pedro Rodríguez, Fernando Escribano, Javier Sedano, Enrique Barra, Álvaro Alonso, David Prieto, Diego Moreno, Abel Carril, José Carlos del Valle, Jaime Mejía, Emilio García, Antonio Mendo, Ivan Martínez, Daniel Gallego, Sandra Aguirre, Antonio Tapiador, Carlos Chavarri, Javier Herrero, Carlos Bueno; etc. En el despliegue de las infraestructuras de banda ancha estuvieron entre otros muchos Pedro Chas, Pedro Lizcano, Luis Merallo o Andrés González Molina en Telefónica I+D; y Vasco Lagarto, José Domingues, Joao Bastos y Francisco Fontes del CET de Aveiro.

Desde 1994 hasta entrado el 2008, Isabel fue utilizada para realizar multitud de congresos distribuidos con hasta 25 auditorios conectados, en colaboración con muchas otras PTTs y

proyectos de investigación. Isabel se utilizó también para realizar tele-clases y tele-reuniones de trabajo. Durante aquellos años se realizaron multitud de eventos distribuidos, tales como ABC en el 95 y 96, Global 360 en el 97 y 98, IDC en el 98 y 99, Seminarios Internet NG 2001 del 2001 al 2004, Telecom I+D desde 1997 al 2007, Global IPv6 Summits de 2001 a 2003 y muchos más. Isabel fue durante más de una década la principal aplicación a nivel mundial para realizar grandes eventos sobre banda ancha. Se trata de otro desarrollo español pionero a nivel mundial, que no fue viable comercialmente.



Algunos miembros del equipo Isabel en el Aula Magna de la ETSIT-UPM a mediados de los noventa. Entre ellos el autor, T. de Miguel, S. Pavón, M. Petit, D. Larrabeiti, C. Sanchez y H. Velayos.

Europa y las NRENs reaccionan a todos estos cambios. En 1993 se crea la entidad sin ánimo de lucro DANTE para desplegar y operar nuevas redes paneuropeas que conecten las NRENs de los distintos países a velocidades de transmisión cada vez mayores, utilizando las nuevas líneas de fibra óptica que los operadores empiezan a desplegar en Europa. DANTE despliega múltiples redes con anchos de banda crecientes EuropaNET (1995, 3.5-26Mbps), TEN-34 (1997, 34 Mbps), TEN-155 (1998, 155 Mbps), GEANT (2001, 10 Gbps) o GEANT2 (2006, fibra oscura) [DANTE 25] [GEANT 25]. Las infraestructuras de RedIRIS aumentan también su ancho de banda siguiendo la estela de las redes paneuropeas.

En octubre de 1994 RARE cambia su nombre por TERENA (Trans-European Research and Education Networking Association) [TERENA 2025], que complementa la acción de DANTE, sobre todo en el despliegue de servicios de usuario. Desde su creación, RedIRIS representa a España en la mayoría de las instituciones y proyectos europeos.

El final del monopolio y la desregulación de las telecomunicaciones

El proceso de liberalización del mercado de telecomunicaciones había empezado en EEUU con la partición de ATT y la creación de las Baby Bells [BabyBells 25]. Este proceso llega a Europa y a España un poco después; y empiezan a crearse nuevos operadores de Telecomunicación, tanto en el área de telefonía fija y móvil como en los servicios de datos e Internet. En este contexto, Telefónica, que era una empresa pública, se privatiza entre 1995 y 1999. En 1995 Telefónica crea Telefónica Móviles como una filial independiente para desarrollar más ágilmente los nuevos servicios de telefonía móvil, que ya empiezan a desplegarse en Europa y en España. En 1998 se crea la CMT (Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones), que debe actuar de árbitro en este mundo que se acaba de abrir a la competencia.

Si bien Infovía es un servicio excelente para un contexto de monopolio, no estaba adaptado a un entorno de competencia. La CMT impuso algunas restricciones al servicio Infovía que llevaron a que se transformase en 1998 en Infovía Plus [Infovía 25] [ElPaís 98]: InfoVía Plus elevaba la velocidad de acceso a 56Kbps y uniformizaba el servicio con el de otros proveedores. En 1999 Telefónica lanza el acceso ADSL [Telefónica 24] a Internet con tarifa plana y a través de su red de cobre a velocidades de 256/128 Kbps. Desde entonces se ha producido una incesante mejora en los servicios de acceso a Internet de Telefónica, especialmente desde la introducción de la fibra óptica. Desde entonces, Telefónica ha sido también pionera en Europa en llevar la fibra óptica hasta el usuario.

AIRTEL [AIRTEL 25] se crea en 1995 como primer gran competidor de Telefónica en telefonía móvil. En 2001 AIRTEL se convierte en Vodafone España. La telefonía móvil estaba entonces en plena expansión gracias a la norma GSM, que habían desarrollado los operadores europeos. GSM ha sido uno de los pocos casos en que Europa ha sido capaz de liderar la creación de una tecnología y de sus estándares asociados. Este éxito tuvo un enorme impacto en la industria europea, arrebatando el liderazgo a EEUU, que había creado la primera generación de telefonía móvil analógica. El liderazgo europeo en GSM fortaleció mucho a los fabricantes europeos de equipos de telecomunicación, así como a sus operadoras; y permitió el nacimiento de gigantes tecnológicos como Nokia en Finlandia. La telefonía móvil GSM estaba únicamente orientada a servicios de voz, aunque ya codificaba la voz digitalmente. El acceso a Internet desde el móvil todavía no era posible, sólo existía el servicio SMS de mensajes de texto.

El acceso efectivo a Internet no tiene lugar hasta que aparece el primer iPhone en 2007 con su pantalla táctil. El iPhone devuelve el liderazgo en la creación de teléfonos móviles a EEUU, posiblemente gracias a su hegemonía en el desarrollo y adaptación del sistema operativo UNIX. El sistema operativo IOS del iPhone se desarrolló a partir de MACOS, que a su vez venía de BSD UNIX. El sistema operativo Android de Google se desarrolló a partir de Linux, otra variante de UNIX. En pocos años los teléfonos inteligentes se convierten en el dispositivo mayoritario de acceso a Internet.

En 1996 se crea Retevisión, que hereda toda la infraestructura de comunicaciones de RTVE que consistía fundamentalmente en la red de radioenlaces de las señales de TV y radio a nivel nacional. Pero para convertirse en el segundo operador nacional de servicios de telefonía fija e Internet necesita diseñar y desplegar tanto la red de telefonía como la red de datos. Para ello entra como socio tecnológico Telecom Italia que se encarga de desplegar la red óptica de transporte a nivel nacional, así como las centrales de telefonía en distintas provincias. Para la red de datos encarga a Satec el diseño y despliegue de la misma. Asimismo, empieza a desplegar también el servicio ADSL incipiente a principios de los 2000's. Retevisión lanza en 1999 el servicio de telefonía móvil Amena, en 2002 se convierte en Auna y en el 2005 el Grupo Auna es adquirido por France Telecom y pasa a llamarse Orange España.

En 2002 se crea Red.es. Red.es constituirá a partir de entonces el principal instrumento del Estado para promover el desarrollo en España de las nuevas redes y de los nuevos servicios digitales. Para ello utilizará los fondos provenientes de los proyectos del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el Fondo Social Europeo (FSE), así como otros que surgen posteriormente.

En 2004 la gestión, el desarrollo y la operación de la red académica española es asignada a Red.es. Todo el equipo del CSIC pasa a Red.es, salvo su director Víctor Castelo. Alberto Pérez es nombrado director adjunto y pasa a ser el director en funciones hasta que Tomás de Miguel es nombrado director de 2005. Diego López es responsable de aplicaciones y Middlewares, Esther Robles es responsable de redes y Antonio Fuentes es responsable de sistemas. RedIRIS constituye ya una red totalmente consolidada que proporciona servicios de datos a la comunidad académica española. Además, es una gran infraestructura donde se puede experimentar con nuevas redes y servicios de comunicaciones en proyectos de investigación, especialmente en los del recién aparecido Programa de Aplicaciones y Servicios Telemáticos del III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo. En 2017 Alberto Pérez es nombrado director hasta 2023, en que vuelve a ser director adjunto de RedIRIS, cuando se fusiona con Servicios Públicos Digitales en el departamento de Servicios Públicos Digitales y RedIRIS dirigido por Francisco J. García Vieira.



Víctor Castelo, José Barberá y Tomás de Miguel en la celebración del 25 Aniversario de RedIRIS

La eclosión de Internet: ISOC, ICANN, RIRs, IPv6, IGF

Internet Society [IS 25] [ISOC 25] se crea en 1992 con Vinton Cerf como primer presidente y muchos otros pioneros en su estructura. Su funcionamiento se rige por la RFC 1602. Se crea en un momento en que acababa el contrato de IETF con NSF. Su objetivo es dar cobertura formal a sus principales comités y grupos de trabajo (IAB, IETF, IRTF, IANA; etc.), además de dar cabida a la enorme comunidad de voluntarios que habían contribuido a crear la red. Se trata de una asociación sin ánimo de lucro, que debe garantizar la independencia de su funcionamiento y de sus métodos de trabajo, que tan buenos resultados habían dado. La asociación crea también capítulos en muchos países para conseguir la máxima cobertura. Ángel Viña, Víctor Castelo o Andreu Vea han sido presidentes del capítulo español. En los años siguientes, ISOC promueve o crea otras organizaciones, como IPv6 Forum, ICANN, IGF (Internet Governance Forum); etc.

Los estándares técnicos de Internet siempre los ha generado IETF, desde su creación en 1986 hasta hoy. IETF se rige por un principio básico, utilizar «*rough consensus and running code*». Por ello utiliza reglas muy flexibles, participativas y técnicamente exigentes, que crearon desde el principio un excelente ecosistema de innovación, donde siempre acaban surgiendo propuestas que resuelven los retos que se han planteado a Internet. Los procedimientos para crear RFCs (*Requests for Comments*) permiten a investigadores y empresas disponer de una mayor libertad para que desarrollen sus iniciativas que los existentes en los organismos de normalización tradicionales. Esto posibilita que IETF se conecte de forma muy efectiva con numerosos ecosistemas de investigación o de innovación ya existentes.

Los recursos numéricos de Internet (tales como direcciones IP, puertos de aplicaciones o dominios) son necesarios para desplegar nuevas redes. Estos recursos se gestionan en otras redes a través de organismos como ITU/CCITT o ISO/IEC, en los que los países están representados. Internet se convierte durante esos años en una infraestructura crítica en muchos estados y éstos quieren ser partícipes de su gestión. IANA se creó al principio de ARPANET para repartir los recursos numéricos, pero los países no están representados. En 1998 se crea ICANN [ICANN 25] bajo el paraguas de ISOC para que asuma las funciones de IANA. ICANN es una organización sin ánimo de lucro, con sede en California, creada con el acuerdo de ISOC e IETF, que firma un contrato con el departamento de comercio del gobierno de EEUU, por el cual asume dichas funciones. Jon Postel, que había sido desde el principio responsable de IANA, es su primer CTO. ICANN delega en cinco registros regionales, cinco RIRs [RIR 25], encargados de la gestión de estos recursos numéricos de Internet en las distintas regiones del mundo, donde entran representantes de los estados. Algunos RIRs existían ya en ese momento, como RIPE para Europa, Oriente Medio y Asia Central. Este proceso da cobertura formal a los RIR ya existentes. Se trata de un compromiso para preservar el espíritu inicial con el que se diseñó Internet, y dar representación a los países en los organismos que reparten los recursos críticos de Internet, sin los cuales resulta imposible su despliegue.

En paralelo con este proceso, se empiezan a agotar las direcciones de la versión 4 de IP, que es la utilizada entonces. La dirección IPv4 tiene 32 bits y limita el número de ordenadores que se pueden conectar a Internet a unos 4.000 millones. Este tamaño parecía suficiente en los años setenta cuando se estaba diseñando IPv4, pero en los noventa resultaba un número ya claramente insuficiente.

En IETF empiezan a aparecer propuestas para sustituir IPv4. Estas propuestas van evolucionando o se fusionan, hasta que finalmente se selecciona la RFC2460 de IPv6 [IPv6 25], para sustituir a IPv4. IPv6 alcanza el estatus de estándar preliminar (*draft standard*) en 1998. El desarrollo de IPv6 fue coordinado por Steve Deering y Robert Hinden. El nuevo protocolo sigue siendo un protocolo orientado a datagramas, que además incluye varias mejoras relacionadas con enrutado, cabeceras o seguridad; pero sobre todo aumenta el tamaño de las direcciones a 128 bits. Esto permite un número prácticamente infinito de direcciones, evitándose así el colapso. Aunque el usuario sigue utilizando sólo las direcciones de dominio (tales como amazon.com o etsit.upm.es), por debajo están ahora las nuevas direcciones físicas IPv6, como 2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7334, que se representan como rstras de 32 dígitos hexadecimales; o las IPv4 de 4 bytes, representadas con cuatro números decimales, por ejemplo 196.232.043.112.

A partir de la publicación de IPv6 empieza el complicado proceso de la sustitución del protocolo nuclear de Internet, el protocolo IPv4, por su nueva versión, IPv6. Es un proceso muy similar al que se realizó con el paso de ARPANET a Internet en 1983, pero en 1998 Internet es mucho más compleja y ya no es viable apagar todos los ordenadores de Internet para arrancarlos al día siguiente con IPv6, como se hizo en 1983. Por eso comienza un proceso de enorme complejidad en el que se diseñan multitud de mecanismos de transición [Waddington 02] [IPv6 25] [IPv6F 25]. Estos mecanismos permiten cambiar el protocolo más importante de Internet de forma gradual y sin que Internet se detenga. Para promover y coordinar el despliegue de IPv6 se crea el IPv6 Forum [IPv6F 25], liderado por Latif Ladid y Jim Bound, así como las IPv6 Task Forces. Los capítulos españoles fueron impulsados por Jordi Palet y Carlos Ralli.

IPv6 también obliga a realizar ciertas adaptaciones a las aplicaciones de Internet. La aplicación Isabel [Quemada 96] fue otro desarrollo español muy pionero en el mundo IPv6. Se trata probablemente de la primera gran aplicación portada a IPv6 entre los años 1999 y 2000. Con la experiencia adquirida, Tomas de Miguel y Eva Castro escribieron una guía de porte de aplicaciones a IPv6 [deMiguel 03], que se adoptó como guía de porte de aplicaciones de referencia por parte de la mayoría de las IPv6 Task Forces, incluida la de EEUU. Este porte tan temprano de la aplicación Isabel hizo que se utilizara para transformar las IPv6 Global Summits de 2001, 2002 y 2003 en eventos distribuidos con participantes y ponentes en Europa y California para demostrar la madurez de IPv6. Estos eventos Isabel, realizados sobre los primeros despliegues reales de IPv6, constituyeron la mejor prueba de la madurez de IPv6, así como de su viabilidad.

Hoy estamos todavía atravesando este proceso de transición, en el que conviven en Internet ordenadores con IPv4, IPv6 y doble pila IPv4/IPv6. Lo importante es que IP sigue funcionando y cumpliendo su función de protocolo que permite conectar cualquier nueva subred o tecnología de red. El número de direcciones que permite IPv6 es tan alto que hoy en día parece inagotable, a pesar del enorme número de nuevos dispositivos que se despliegan continuamente, incluyendo los millones de ordenadores o de servidores en la nube, todos los teléfonos y otros dispositivos móviles, los sensores y actuadores de inteligencia ambiental en ciudades y otros espacios inteligentes, así como muchos otros.

El Foro de Gobernanza de Internet [IGF 25] se crea en 2006 por mandato de la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI), organizada por la ONU, con capítulos en la mayoría de los países. IGF debe asesorar e inspirar las políticas públicas digitales que los países deben desarrollar. Jorge Pérez crea el capítulo español de IGF en la ETSIT-UPM en 2009. En esta tarea le ayudan de Vinton Cerf y Tim Berners Lee, que habían acudido a Madrid a participar en WW2009, el Congreso Mundial del Web.

El congreso WW2009 fue organizado por el autor, junto con Gonzalo León, Juan Viñas y muchas otras personas de UPM. WW2009 sirvió para traer a España a más de dos mil pioneros de la Web y de Internet que establecieron múltiples contactos locales. UPM aprovechó la presencia de Vinton Cerf y de Tim Berners Lee para nombrarles Doctores Honoris Causa a propuesta del autor. Fue la única ceremonia en la historia de UPM en la que se han nombrado dos doctores honoris causa en un mismo acto.



El autor recibiendo al entonces Príncipe Felipe en la inauguración de WW2009 junto con Gonzalo León y Paco Ros al fondo.



El entonces Príncipe Felipe en la inauguración de WW2009 saludando a Wendy Hall, con Tim Berners-Lee y Vinton Cerf.

HTML5 y la consolidación de la plataforma Web

En el año 2000 Microsoft ejerce un control casi monopolístico del mercado de navegadores y empieza a añadir extensiones propietarias a las normas publicadas por el W3C. Además, la publicación de videos y otros contenidos multimedia en las páginas Web empieza a estar controlada por empresas privadas, como Macromedia.

En aquellos años, el W3C decide discontinuar HTML y sustituirlo por XHTML [XHTML 25], que no es compatible con HTML. También propone crear una nueva capa por encima de HTTP, utilizando el protocolo SOAP [SOAP 25]. Estas propuestas tienen escaso eco en la industria, que se rebela y empieza a buscar sus propias soluciones.

Como reacción a una situación tan caótica, Apple, Mozilla Foundation y Opera Software crean en 2004 WHATWG [WHATWG 25] (Web Hypertext Application Technology Group), un grupo de trabajo que debe realizar propuestas de actualización de HTML, coordinadas con el desarrollo de CSS (hojas de estilo del navegador) y con el de JavaScript (lenguaje de programación del navegador). Las nuevas normas, conocidas como HTML5, añaden soporte al acceso móvil, al video y otros contenidos multimedia, a la Internet de las cosas y a muchos otros temas.

Además, comienza el desarrollo de navegadores conformes a HTML5 basados en SW libre. Mozilla desarrolla Firefox, Opera adapta su navegador y Apple desarrolla Safari y la librería WebKit. Este movimiento obtiene un gran éxito. Google se une en 2005 y comienza el desarrollo de Chrome. En 2007 el W3C decide alinearse con WHATWG y crear un comité conjunto que genere una norma común de HTML5. Y finalmente, en 2015, se integra Microsoft, que decide alinearse con HTML5 y desarrollar un nuevo navegador, denominado EDGE, que debe estar adaptado a la nueva norma. HTML5 es ya una realidad imparable. Y la guerra de los navegadores finaliza.

Hacia 2010, W3C se vuelve a alinear con la industria también en el apoyo a HTTP y discontinúa el desarrollo de SOAP. En 2014 IETF publica una actualización de HTTP/1.1. En 2015 publica HTTP/2 y en 2022 HTTP/3, el cual, además de introducir mejoras, recomienda sustituir el uso de TCP por el del nuevo protocolo QUIC, como una aplicación sobre UDP, que se instala al instalar o actualizar el navegador.

Todo esto lleva a que la plataforma Web se consolide con HTTP como principal protocolo y la arquitectura REST [REST 25] como paradigma de diseño de servicios y portales. Estos atienden las solicitudes HTTP de los clientes, y las conexiones HTTP se crean con conexiones QUIC sobre UDP en vez de TCP. Si bien se siguen utilizando los protocolos de aplicación (como los de email, SSH, MQTT, Websockets y otros), su tráfico resulta muy minoritario.

Internet es hoy sobre todo una red de distribución de contenidos, donde casi la totalidad del tráfico de paquetes IP lo generan HTTP y la distribución de video u otros contenidos masivos. La distribución de todos estos contenidos se optimiza con la jerarquía de cachés creada con HTTP, así como con otros mecanismos específicos [CDN 25] creados por empresas,

como Akamai. Así es como se ha resuelto el problema de la explosión del tráfico de contenidos que apareció con la Web. Internet no se diseñó para distribuir contenidos, ni con mecanismos de seguridad adecuados, sino para soportar conversaciones interactivas entre cliente y servidor con circuitos TCP. A pesar de ello, el enorme dinamismo de su sistema de gobernanza y especialmente de IETF han permitido que siempre acaben surgiendo soluciones para los retos que se le han planteado en Internet durante todos estos años.

Resumen del despliegue de Internet en España y conclusiones

Leonard Kleinrock desarrolla su tesis doctoral en el MIT y la defiende en 1962. En ella propone modelos de redes de conmutación de mensajes que tienen mucha influencia e inspiran el desarrollo de nuevas redes de datos basadas en almacenamiento y envío. En 1962 J. C. R. Licklider lanza el reto de crear la «Red Galáctica» para dar acceso desde universidades a los costosos ordenadores que empezaban a proliferar en EEUU. Pioneros como Donald Davies o Larry Roberts realizan experimentos, que llevan a Larry Roberts a organizar el despliegue de ARPANET a través de un conjunto de proyectos financiados por ARPA. En 1969 se despliegan los primeros 4 nodos de esta red en UCLA, SRI, UCSB y Univ. Utah, y dos años después cuenta ya con más de veinte nodos. Inmediatamente aparecen muchas otras redes, todas incompatibles entre sí.

Hacia 1972 Bob Kahn y Vinton Cerf comienzan a trabajar en el desarrollo de una arquitectura de interconexión de redes basada en el protocolo IP, y desarrollan junto con otros pioneros de Internet la pila TCP/IP como solución al «*internetting problema*». En 1983 nace Internet, cuando ARPANET cambia su protocolo NCP por TCP/IP. El éxito de ARPANET propicia la aparición de una industria que incorpora TCP/IP. Por ejemplo, a partir de 1982 SUN Microsystems, CONVEX y otras empresas empiezan a producir ordenadores que incorporan TCP/IP. También se crea Cisco Systems en 1984, la primera empresa de *routers* IP. Todas ellas cosechan un gran éxito.



Concesión de los premios Príncipe de Asturias a Vinton Cerf, Bob Kahn, Larry Roberts y Tim Berners-Lee. Arriba están los cuatro junto a Andreu Veiga; y abajo Manuel Sanromá, José Barberá y José Luis Pardo

En 1986 la National Science Foundation (NSF) lanza el proyecto NSFnet, que despliega una gran red basada en TCP/IP entre universidades de EEUU. NSFnet consolida Internet como una alternativa viable tanto técnica como industrialmente. Esto acelera en gran medida el despliegue de esta red en EEUU, tanto en universidades como en empresas, aunque todavía no cuenta con el apoyo ni de las administraciones ni del sector de telecomunicaciones en EEUU.

En 1980, la organización ISO (International Standards Organization), encargada de producir normas de ámbito global, lanza la definición de la arquitectura OSI (*Open Systems Interconnection*) con un propósito muy similar al de TCP/IP: servir de marco de interconexión de las redes existentes. El modelo OSI recibe un apoyo prácticamente unánime en ISO. Universidades y empresas de múltiples países emprenden su definición e implementación apoyados por grandes programas de investigación.

Desde principios de los ochenta, Europa se plantea el despliegue de redes académicas y de investigación, también denominadas NRENs (*National Research and Education Networks*). El programa europeo ESPRIT promueve la creación de RARE (Reseaux Academiques y de Recherche Europeens). Después de varias reuniones RARE se constituye en 1986, con el objetivo de alinear las distintas redes académicas europeas entre sí y coordinar el despliegue de OSI en Europa. Los primeros representantes españoles fueron Paco Ros y Ramón López de Arenosa.

En 1985 se empiezan a desplegar nuevas redes en España. Telefónica lanza su red IBER-PAC basada en X.25 como un servicio comercial de datos, utilizando equipos Tesisys, que fueron desarrollados por su grupo industrial. La comunidad de físicos de altas energías despliega la red FAENET, basada en la arquitectura DECNET como parte española de la red HEPNET, promovida por el CERN. También se despliega la red EARN/BITNET, promovida por la empresa IBM, entonces la mayor empresa informática del mundo. Ese año comienza el despliegue la red RICA en Andalucía.

El Ministerio de Educación y Ciencia español publica también en noviembre de 1985 el documento que define el proyecto IRIS [IRIS 1985] [López 98], acrónimo de Interconexión de Recursos InformáticoS. Su objetivo es desarrollar una red académica española alineada, tanto con ISO-OSI como con el entorno europeo. El proyecto IRIS no arranca hasta 1988, considerado el año de creación de RedIRIS.

En 1985 se realizan también los primeros despliegues de Internet en España, organizados por el autor. En el DIT de la ETSIT-UPM se despliega la primera subred IP, que además se conecta al email de Internet a través de EUNET. El autor realizó el despliegue del nodo de EUNET junto con Fernando Fournón, y el de la subred IP junto con Gonzalo León y Tomás de Miguel. El proceso se realizó para disponer de un email flexible y eficaz en los proyectos europeos en los que íbamos a participar. Este despliegue daba acceso a bajo coste al email y a las *news* de Internet, por lo que algunos la denominaban la «Internet de los pobres».

La utilidad de este servicio de email llevó a Juan Riera a buscar financiación y promover la sustitución del primer nodo de EUNET por otro más potente, denominado Goya, que fue configurado y administrado por Fernando Fournón hasta que dejó UPM a finales de 1986.

José Antonio Mañas se encargó de administrar el servicio de email desde finales de 1986, año en que se incorporó al DIT-UPM. Desde entonces fue el gran impulsor de la expansión de EUNET en España. José A. Mañas también fue socio fundador de Goya Servicios Tele-máticos en 1992, el primer ISP español, y uno de sus principales impulsores.

En un proceso paralelo, en el resto de España se empezaban a desplegar algunas subredes IP. En la Universidad de Sevilla, José Luis Huertas, Gustavo Sánchez y Santiago Sánchez despliegan hacia 1985 en la Universidad de Sevilla una red ethernet con DECNET y después una subred IP en 1985-86, compuesta por un Vax con Ultrix y otros sistemas SUN. En la Universidad de Cantabria Iñaki Martínez y Ángel Camacho también despliegan redes IP hacia 1986-87. Telefónica I+D empezó también entonces a desplegar sistemas SUN y redes IP, además de un nodo de EUNET. Y poco después en muchas otras universidades y empresas.

En 1987 el grupo de León Vidaller extiende la subred IP inicial al resto de la ETSIT desplegando una ethernet 10Base5 a los edificios A y B de la ETSIT-UPM en el marco de un proyecto CICYT de infraestructuras. A esta red se añade un enlace láser muy pionero de 9600 bps con el rectorado de UPM, realizado por el grupo de José Antonio Martín Pereda, que utiliza equipos recién desarrollados por la empresa Teldat, de reciente creación.

En 1988 se crea RedIRIS. El MEC encarga su gestión a FUNDESCO, con José Barberá como primer director. En su fase inicial, RedIRIS debe coordinar y ayudar a desarrollar los proyectos orientados al desarrollo de una futura red basada en OSI (*Open Systems Interconnection*) de ISO que interconecte ordenadores e infraestructuras informáticas en España. Una parte importante de los proyectos trabajan en OSI, pero otros proyectos se centran en redes IP, FAENET, EARN y otras soluciones, consideradas transitorias hasta que OSI esté listo.

En 1988 Iñaki Martínez, Carlos Blázquez y José Barberá configuran el primer servidor español de DNS en FUNDESCO y empiezan a crear los primeros subdominios españoles (xx.es). José A. Mañas creó bastantes de los primeros subdominios españoles de DNS, que eran necesarios para construir las direcciones de email e instalar servidores de EUNET. En 1989 el dominio *dit.upm.es* ya se utilizaba regularmente en las direcciones de email del DIT.

Entre los proyectos IRIS está RUNET, que, liderado por León Vidaller, amplía entre 1988 y 1990 la subred IP de la ETSIT-UPM al Rectorado de UPM, a UCM y al CIEMAT, conectados a través de *routers* Cisco. RUNET tiene su nodo central en la ETSIT-UPM. El *router* del Rectorado se conecta al nodo central a través del enlace láser ya desplegado. Los *routers* de UCM y CIEMAT se conectan a través de fibras óptica desplegadas para ese propósito. Este proyecto hace que los directores de los centros de cálculo de UPM primero y UCM después desplieguen redes IP que lleguen a todos sus centros, encapsulando otros servicios de red sobre TCP/IP, especialmente los de IBM. Carlos Otermin coordinó estos despliegues en el Rectorado de UPM, Juan Miguel Márquez en UCM y Antonio Mollinedo en el CIEMAT.

ARTIX es otro proyecto clave del programa IRIS, que, liderado por Julio Berrocal, despliega una red privada X.25 con conexión internacional a través de IXI. ARTIX tiene un nodo central en la DIT-UPM y otros tres nodos en el CIEMAT, en la UPC y en el CICA. El despliegue del nodo del CIEMAT fue coordinado por Antonio Mollinedo, el de la UPC por Manuel Martín y el del CICA por Gustavo Sánchez. ARTIX se conectó con Europa y el mundo a través de la red paneuropea IXI y sirvió para encapsular IP en el proyecto Sideral y conectar las subredes IP españolas con la Internet global. En ese período España y Europa estaban muy alineadas con la norma X.25 y ésta resultaba la mejor manera de obtener conectividad global de datos.

El proyecto IRIS que finalmente conecta España con la Internet global es Sideral (Servicio de Interconexión DE Redes de Área Local). Es un proyecto coordinado por FUNDESCO que encapsula TCP/IP a través del X.25 de las redes ARTIX e IXI, conectando las subredes IP españolas y proporcionando conectividad IP global por primera vez. El primer despliegue experimental se realiza en diciembre de 1990 y fue coordinado por José Barberá e Iñaki

Martínez. Tuvo 4 nodos: en FUNDESCO, en el DIT-UPM, en el CICA y en el CIEMAT. Para poder realizar esta primera conexión Internacional las direcciones IP privadas utilizadas en las subredes iniciales, se habían migrado a direcciones IP públicas con anterioridad. Entre 1988 y 1991 se asignaron bloques de direcciones IP públicas a todas las instituciones para que pudiesen conectar sus ordenadores correctamente a la Internet global. La primera asignación fue una clase B asignada al DIT en 1988, que había solicitado José Antonio Mañas a SRI en California.

Miguel Ángel Sanz coordina a partir de entonces el despliegue del servicio IP, que inicia su fase operativa en marzo de 1991 conectando al CIEMAT, CNM, CSIC, FUNDESCO, RICA, UAB, UAM, UB, UPC, UNIOVI, UIB y UPM. El servicio IP se consideraba entonces un servicio transitorio hasta que OSI estuviese listo, pero continúa siendo hoy el principal servicio que ofrece RedIRIS.

En paralelo, Internet empieza a penetrar en Europa. En 1988 EUNET cambia de UUCP a TCP/IP en sus troncales principales. En 1990 EUNET se transforma en un ISP y lanza los primeros servicios comerciales europeos de acceso a Internet. Ese mismo año, se crea UUES, la Asociación de Usuarios de UNIX en España, con José Antonio Mañas de presidente, Javier Romañach como secretario y 51 miembros inscritos. Es un primer paso para dar cobertura a las actividades de EUNET y preparar el camino para su conversión en un ISP. A finales de ese año se pasa la conexión entre el nodo Goya y CWI de Amsterdam a IP encapsulado sobre X.25 a través de ARTIX y a finales de 1991 se contrata una línea de datos punto a punto de 64 Kbps entre el DIT y el CWI de Amsterdam, para usar IP nativo y mejorar la eficiencia.

Al año siguiente José Antonio Mañas, Ángel Álvarez, Juan Antonio Esteban, Javier Romañach y otros asumen el reto de transformar en un ISP el nodo central de EUNET en España, que todavía estaba en el DIT-UPM. El nuevo ISP nace en diciembre de 1992 con el nombre de Goya Servicios Telemáticos. El nodo Goya se traslada desde el DIT a la nueva sede, junto con la línea punto a punto de 64 Kbps con Amsterdam. El nuevo ISP ofrece por primera vez en España, acceso comercial a Internet, además del acceso al email a través de modem y UUCP heredado de EUNET. Goya Servicios Telemáticos es adquirido a los tres años por SEMA Group.

En 1993 la gestión de RedIRIS se transfiere al CSIC y Víctor Castelo se convierte en su director. Durante esta etapa finalmente se sustituyen las líneas X.25 entre los nodos de RedIRIS por líneas de datos punto a punto con IP nativo, para mejorar la eficiencia. RedIRIS se transforma en esta fase en una gran infraestructura de servicios e investigación, que aumenta su ancho de banda y su tecnología en paralelo con las mejoras de las redes troncales europeas y de las mejoras de las tecnologías de fibra óptica.

En 1994 aparece Servicom, el segundo ISP en España, creado por Eudald Domenech-Riera. Servicom nace con unos planes comerciales muy ambiciosos, proporcionando acceso a EEUU a través de una línea directa de 1,5 Mbps y con puntos de presencia en varias provincias a los que los usuarios accedían con un modem telefónico o las empresas con líneas punto a punto. Servicom fue adquirida en 1988 por Retevisión. Actualmente ha pasado a ser parte de Orange.

Y en 1995, cuando ya existían más de 30 ISPs, Telefónica lanza el servicio Infovía de acceso a Internet que universaliza el acceso a Internet. Telefónica vuelve a adelantarse a los demás operadores europeos. Infovía es un servicio de acceso universal a Internet a través de un módem de 28Kbps y una línea telefónica. El acceso es a través de un número único (055) y la tarifa es plana.

En paralelo a este proceso, a principios de los noventa aparece la Web, la aplicación estrella de Internet. La crea Tim Berners Lee junto con algunos colaboradores, mientras trabaja en el CERN. La aplicación presenta una arquitectura sencilla, descentralizada y escalable. Esto permite crear con facilidad nuevas aplicaciones hipertexto, que además son sencillas e intuitivas de utilizar. La arquitectura se extiende enseguida para crear tiendas electrónicas como Amazon, buscadores como Yahoo o Google, wikis como Wikipedia o redes sociales Twitter o Facebook.

El primer servidor Web español registrado en la lista del CERN fue instalado por Jordi Adell en la Universidad de Castellón en 1993, pero Ángel Camacho de la Universidad de Cantabria había instalado otro en 1992, que por un error no se registró bien en la lista del CERN. La primera tienda electrónica española la crean los hermanos Barrabés en Benasque en 1995, y la segunda la crea en el mismo año La Casa del Libro. Y luego llegan muchas más.

La aparición de la Web provoca el gran boom de Internet de los noventa, que desplaza definitivamente las demás redes. Las batallas en el mundo de la normalización se trasladan entonces a la Web y comienza la guerra por controlar el navegador, el cual se ha convertido en la ventana de acceso a Internet.

Hacia 1995 comienza en España la liberalización del sector de las telecomunicaciones. Telefónica inicia su privatización. En el área de Internet debe transformar Infovía en Infovía+ en 1998 para adaptarse a las nuevas condiciones de competencia. En 1999 Telefónica comienza a ofrecer ADSL y en las décadas siguientes realiza un gran despliegue de fibra óptica hasta el hogar algo que lleva a España a ser uno de los países líderes en este aspecto.

En 1995 también llega la telefonía móvil a España, aunque el acceso móvil a Internet tardará todavía una década. En 1996 aparece Retevisión, el segundo operador de telefonía e Internet. En 1997 se crea ESPANIX, el primer intercambiador de tráfico IP español, y después llegan otros. En 2002 se crea Red.es para promover el desarrollo en España de las nuevas redes y de los nuevos servicios digitales. En 2004 la gestión, el desarrollo y la operación de la red académica española fue asignada a Red.es. En 2004 Alberto Pérez es nombrado director adjunto y además director en funciones, hasta que Tomás de Miguel pasa a ser su director en 2005. Alberto Pérez pasa a ser director en 2017 hasta que en 2023, RedIRIS se fusiona con Servicios Públicos Digitales en el departamento de Servicios Públicos Digitales y RedIRIS dirigido por Francisco J. García Vieira, con Alberto Pérez como director Adjunto de RedIRIS.

Durante los años noventa Internet afronta también el difícil reto de tener que sustituir el protocolo IPv4, utilizado desde 1983, por una nueva versión que resuelva el problema inminente de la escasez de direcciones. En diciembre de 1998 se publica la RFC2460, que define IPv6, la versión 6 de IP, la cual aumenta enormemente el número de direcciones IP disponibles y evita el colapso de la red. El desarrollo de IPv6 ha sido liderado por Steve Deering y Robert Hinden. Comienza entonces el complicado proceso de la sustitución del protocolo de IPv4 por IPv6 mientras la red sigue en marcha. Dada la complejidad de la Internet actual, hay que utilizar un conjunto amplio de mecanismos de transición, que permiten pasar a IPv6 de forma gradual y sin que Internet se detenga. Para facilitar este proceso se crea el IPv6 Forum, liderado por Latif Ladid y Jim Bound, que impulsan la creación de «IPv6 Task Forces» en los diversos países. La española fue impulsada principalmente por Jordi Palet y Carlos Ralli.

Durante los años noventa, Internet comienza a consolidar también el modelo de gobernanza que tenemos hoy. El contrato de funcionamiento de IETF con NSF acaba en 1992, y entonces se crea ISOC (Internet Society), como una asociación sin ánimo de lucro. Vinton Cerf es su primer presidente y muchos otros pioneros están presentes en su estructura. ISOC

sirve para proporcionar cobertura a sus principales comités y grupos de trabajo (IAB, IETF, IRTF, IANA; etc.). ISOC crea capítulos nacionales para dar cabida a una enorme comunidad. Ángel Viña, Víctor Castelo o Andreu Vea han sido presidentes del capítulo español.

En los años siguientes, ISOC promueve o crea otras organizaciones, como IPv6 Forum, ICANN, IGF (Internet Governance Forum); etc. Internet se ha convertido en una infraestructura crítica y muchos países quieren participar en la gestión de los recursos numéricos necesarios para su despliegue, que gestiona IANA desde los comienzos de ARPANET. En 1988 se crea ICANN para asumir las funciones de IANA. ICANN delega en 5 registros regionales para las distintas regiones del mundo y ahí entran representantes de países. Con este compromiso la gobernanza de Internet preserva el espíritu inicial de los pioneros que crearon Internet, y se permite a los países disponer de representación en la distribución de los recursos críticos para su despliegue, como son las direcciones IP o los dominios.

El Foro de Gobernanza de Internet se crea en 2006 [IGF 25] por mandato de la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI), organizada por la ONU, con capítulos en la mayoría de los países. IGF debe asesorar e inspirar las políticas públicas digitales que los países deben desarrollar. Jorge Pérez promueve la creación del capítulo español de IGF en 2009 desde la ETSIT-UPM.

El éxito de Internet y su capacidad para desplazar a otras redes con enormes apoyos políticos y económicos es difícil de entender. ARPANET e Internet fueron desarrolladas por un grupo de pioneros, muy brillantes, que trabajaron con una gran libertad, con una generosa financiación de ARPA y con unos principios técnico-filosóficos que demostraron una enorme eficacia, tales como:

- El principio extremo a extremo, que llevó a desplazar la inteligencia a los extremos, simplificando el diseño de la red. Este diseño permitió la aparición de aplicaciones como el email, el DNS o la Web de forma independiente de la red.
- El principio de descentralización y robustez, que produjo una red capaz de sobrevivir a los fallos de sus partes.
- El uso de estándares abiertos e interoperables para permitir conectar a cualquier persona u ordenador. La regla básica era buscar «*rough consensus and running code*», como principio de funcionamiento utilizado en IETF.
- Uso de una arquitectura con niveles horizontales, con cada nivel especializado en una función.
- El principio de universalidad que llevó a desarrollar una arquitectura capaz de integrar cualquier otra red o tecnología de comunicaciones con facilidad.
- El principio de utilidad pública, que hizo primar la facilidad de uso, de despliegue y de intercambio de conocimiento, frente al negocio. Esto permitió aglutinar una enorme comunidad, donde primaba la confianza en los demás, la publicación abierta y la cooperación.
- El principio de escalabilidad y evolución donde cada parte debía poder crecer y evolucionar sin necesidad de modificar o rediseñar el resto.

Los pioneros de Internet se dotaron desde el principio de unas estructuras de gobernanza muy participativas y eficaces, que, siguiendo estos principios, crearon un ecosistema de innovación mucho más eficaz que el de los organismos de normalización tradicionales. Todo esto ha permitido que Internet no sólo avanzase más rápido que otras arquitecturas que competían con ella, sino que superase de forma exitosa todos los retos planteados durante

sus más de cuarenta años de existencia. Posiblemente Vinton Cerf, que se ha encontrado siempre en los puestos de mayor relevancia, ha resultado el mejor guardián de estos principios, que han posibilitado que Internet se haya convertido en uno de los principales pilares de la sociedad de la información.

Carlota Pérez [Pérez 02] plantea un modelo de las revoluciones tecnológicas, que describe la revolución TIC con mucha precisión. La revolución TIC ha pasado por muchas fases en las que han aparecido y desaparecido enormes empresas, y sólo las mejor adaptadas han sobrevivido a la explosión de la burbuja .com y se han convertido en los grandes líderes tecnológicos de hoy. Se trata de Amazon, Google, Meta, Apple o Microsoft, junto con alguna surgida después, como OpenAI. Los grandes líderes tecnológicos nacen normalmente durante la fase expansiva de las revoluciones tecnológicas. Son empresas que apuestan por la tecnología adecuada y cosechan un enorme éxito. Además, tienen que ser capaces de sobrevivir a la explosión de la burbuja, que tienen todas estas revoluciones. Algunas empresas tienen incluso que reinventarse para no desaparecer, como ha ocurrido con Apple o Microsoft que han tenido fuertes altibajos.

La revolución TIC ha tenido una característica que no compartían las anteriores. La universalidad de la red triunfante y el modo en que las redes se definen con estándares de protocolos (así como las batallas en torno a estos estándares) han marcado en gran medida la evolución de esta revolución. El valor de una única red que conecte todos los ordenadores y usuarios es mucho mayor que el de muchas redes separadas; y por eso sólo ha sobrevivido una, Internet. Esto ha tenido un efecto negativo en la industria de los países que apostaron por tecnologías y estándares equivocados, como ocurrió con Europa y España. Europa sólo ha obtenido un éxito tecnológico en esta revolución: la norma GSM de telefonía móvil digital, que permitió la aparición de líderes globales, como Nokia. Esto fue posible porque Europa había creado e impuesto su propia norma. Ahora bien, se trató de un éxito efímero, dado que la aparición del *smartphone* diez años después conectó el teléfono móvil con Internet devolviendo el liderazgo a EEUU.

España estaba mejor preparada para incorporarse a la revolución TIC que a las anteriores, porque al empezar ya existían grandes empresas en el sector de las telecomunicaciones. Además de Telefónica estaban Standard Eléctrica, Secoinsa, Sitre, Amper, Telettra, Intelsa, y otras. Éstas fueron ágiles y pioneras en incorporar las TIC, como hizo Telefónica con la RETD. Sin embargo, como ocurrió en Europa, no siguieron el avance de la revolución TIC con suficiente agilidad en las fases intermedias en las que Internet empezaba a imponerse, y eso tuvo un impacto negativo en el sector industrial. Aunque durante este periodo han surgido muchas empresas TIC nuevas, en ningún país europeo se han creado grandes líderes tecnológicos, como los de EEUU. Telefónica es la gran empresa española que mejor se ha posicionado en este sector, gracias a su agilidad y crecimiento internacional. En cambio, muchos países asiáticos han sido mas exitosos para crear un fuerte sector industrial TIC que Europa o España. Aún así, el desarrollo de las redes digitales y la incorporación de las TIC en la sociedad y en la industria es muy alto.

El sistema universitario desempeñó un papel muy importante en el desarrollo de Internet en EEUU. La generosa financiación de ARPA primero y de NSF después permitió que Internet se consolidase como una alternativa viable (a pesar de no contar con apoyo ni en el gobierno ni en la industria de EEUU). El ágil ecosistema de innovación y emprendimiento de EEUU creó rápidamente *spin-offs*, algunas de las cuales llegaron a ser grandes empresas en pocos años, incluso líderes tecnológicos mundiales. En Europa y en España también fue el sistema universitario el primero en entrar en Internet, aunque fundamentalmente como usuarios. Este proceso muestra tanto lo impredecible que resulta la evolución de la tecnología actualmente,

como la importancia de seguir todos los desarrollos tecnológicos, además de facilitar al máximo la innovación y el emprendimiento.

Si bien la revolución TIC se encuentra en una fase muy avanzada, todavía nos sigue dando sorpresas, como la irrupción de la IA generativa con su enorme impacto. Sin embargo, el principal problema de Internet, la ciberseguridad, sigue sin resolverse. Internet se diseñó en sus comienzos tratando de facilitar al máximo su uso, su despliegue y sus capacidades de innovación. Entonces no se prestó mucha atención a los problemas de seguridad que podían surgir en el futuro. Los mecanismos de seguridad se han ido introduciendo posteriormente a medida que surgían problemas. Hoy es probablemente el principal reto a resolver.

Probablemente tengamos, además, otra revolución en ciernes: Carlota Pérez cree que ésta se basará en los avances de las tecnologías bio y nano, aunque existen muchas otras tecnologías con un alto potencial, como la energía, el transporte, la biónica, la robótica o el espacio. El futuro nos dirá.

Agradecimientos

En primer lugar, debo agradecer a Manuel Sierra, director de la ETSIT-UPM; por ser el marco en el cual se ha desarrollado este trabajo. También agradezco el apoyo del Museo Jorge Serna de la Historia de las Telecomunicaciones de la ETSIT-UPM y en especial a Carmen Luengo, su directora; Asimismo, agradezco a Juan Antonio Martínez Castaño, Gabriel Martín y Abel Carril la ayuda para poner en marcha la maqueta del primer despliegue de IP y EUNET.

También agradezco al Foro Histórico de las Telecomunicaciones del COIT y a sus miembros el apoyo prestado para conseguir información y contactos de gran utilidad, en especial a Manuel Avendaño, Antonio Golderos y José Ramón Iglesias. El foro ha sido además un marco muy adecuado para ir preparando toda la información necesaria para este artículo.

Asimismo, se agradece el soporte dado al proyecto de la convocatoria de Generación del Conocimiento 2022 del Plan Nacional, financiado por la Agencia Estatal de investigación (AEI) 10.13039/501100011033, de nombre FuN4Date, código PID2022-136684OB-C22, así como al proyecto TUCAN6-CM (TEC-2024/COM-460), financiado por la Comunidad de Madrid (ORDEN 5696/2024).

Finalmente, agradezco el esfuerzo que han realizado muchas personas para proporcionar datos que han enriquecido mucho esta historia, así como las revisiones que han realizado algunos de ellos. Es una larga lista que incluye a Ángel Álvarez, Arturo Azcorra, José Barberá, Enrique Barra, Julio Berrocal, Josep María Blasco, José Cabrera, Ángel Camacho, Víctor Castelo, Pedro Chas, Juan Antonio Esteban, David Fernández, Fernando Fournón, Tomás García, José Luis Huertas, José Luis Jiménez Fernández, Diego López, José A. Mañas, Juan Miguel Márquez, Antonio Martínez Mas, Pedro Montarelo, José Ignacio Moreno, Carlos Otermin, Isidoro Padilla, Alberto Pérez, Jorge Pérez, Santiago Pavón, Pedro Reviriego, Juan Riera, Ignacio Rivera, Joaquín Salvachúa, Gustavo Sánchez, Santiago Sánchez, Miguel Ángel Sanz, Jesús Sanz de las Heras, Juan Antonio Saras, Juan Carlos Tejedor, Andreu Vea, León Vidaller, Alfredo Villalobos y Juan Vinyes.

Abreviaturas y Acrónimos

ALOHA	Pionera red radio inalámbrica con CSMA de la universidad de Hawai
ARPA	<i>Advanced Research Project Agency</i> : agencia de financiación de proyectos de investigación del ejército de EEUU
ARPANET	Red de paquetes para transporte de información, financiada por ARPA y desplegada en 1969, que está considerada la primera red de conmutación de paquetes en entrar en servicio.
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> : tecnología de RDSI-BA
ATT	<i>American Telephone and Telegraph</i> : operador de telecomunicaciones de EEUU antes de la desregulación del monopolio
AUI	Asociación de Usuarios de Internet
BBDD	Base de datos: lugar donde los ordenadores guardan grandes volúmenes de datos que pueden consultar y gestionar eficazmente.
BBN	Empresa <i>Bolt Berenak and Newman</i> muy pionera en Internet
BBS	<i>Bulletin Board System</i> : redes de anuncios en un servidor común muy populares antes de Internet
BITNET	Red pionera creada fundamentalmente entre ordenadores de IBM para disponer de email y otros servicios entre ellos
BSD UNIX	<i>Berkeley Systems Development UNIX</i> : Variante de UNIX desarrollada en la Universidad de California Berkeley, que incorpora TCP/IP y está basada en SW libre
CCITT	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico
CERN	<i>Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire</i>
CICA	Centro de Informática Científica de Andalucía
CMT	Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones
CNM	Centro Nacional de Microelectrónica
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CSMA	<i>Carrier Sense Multiple Access</i> : protocolo utilizado en la red ALOHA
CSMA/CD	<i>CSMA with Collision Detection</i> : variante de CSMA utilizada en ethernet
CSNET	<i>Computer Science Network</i> : red pionera que extendió ARPANET e Internet
CWI	<i>Centrum Wiskunde & Informatica</i> : Instituto de investigación en Amsterdam que albergó el nodo europeo de EUNET
CYCLADES	Red de paquetes pionera en Francia.
DANTE	<i>Delivery of Advanced Network Technology to Europe</i> : Organización sin ánimo creada para desplegar redes académicas pan-europeas

DARPA	<i>Defence Advanced Research Project Agency</i> : nuevo nombre de ARPA a partir de 1983
Datagrama	Paquete de información digital que se envía a través de una red de paquetes independientemente de otros datagramas
DEC	<i>Digital Equipment Corporation</i> : fabricante de miniordenadores en EEUU muy populares de las series PDP y Vax en los años 80 y 90.
DECNET	Red de interconexión de ordenadores DEC
DIT	Departamento de Ingeniería Telemática de la ETSIT-UPM
DSA	<i>Distributed Systems Architecture</i> del fabricante UNIVAC
DNS	<i>Domain Name System</i> : servicio de Internet que relaciona direcciones binarias IP, como 192.65.9.122, con direcciones simbólicas de dominio como upm.es
DNSSEC	<i>Domain Name System SECurity extensions</i> : versión segura de DNS
EAN	SW de email que con soporte a X.400 y RFCs 821 y 822 de Internet
EARN	<i>European Academic Research Network</i> : parte europea de BITNET
email	<i>Electronic mail</i> : correo electrónico
ETSI	<i>European Telecommunication Standards Institute</i>
ETSIT	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
EUNET	<i>European Unix users NETwork</i> : red de acceso barato al email de ARPANET/Internet usando módems telefónicos y UUCP, que permitía conectar subredes IP aisladas, denominada Internet de los pobres
FAENET	Parte española de HEPNET
FIDONET	Una de las redes de BBS mas importantes
FUNDESCO	Fundación para el Desarrollo Social de las Comunicaciones
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i> : norma europea de telefonía móvil digital
HEPNET	<i>High-Energy Physics Network</i> : red de interconexión de la comunidad de físicos de altas energías promovida por el CERN
HLS	<i>HTTP Live Streaming</i> : Protocolo para transmisión en vivo de audio y video bajo demanda a través de HTTP
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> : lenguaje de marcado de páginas Web
HTML5	Versión 5 del lenguaje HTML utilizada actualmente
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i> : protocolo Web para transferir recursos
HTTPS	HTTP seguro
HW	<i>Hardware</i> : partes físicas y tangibles del ordenador, que incluyen la electrónica y todas sus partes mecánicas.
IA	Inteligencia Artificial
IAB	<i>Internet Advisory/Activities/Architecture Board</i> comité creado en 1984 para coordinar el desarrollo de Internet, que fue cambiando de nombre hasta que se integró en ISOC
Internet	Red de datos basada en la pila de protocolos TCP/IP

IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority</i> : organización creada en los comienzos de ARPANET e Internet para asignar sus recursos numéricos, tales como direcciones IP, dominios y otros.
IBERPAC	Primera red publica de datos de Telefónica basada en X.25
IBM	<i>International Business Machines Corporation</i> : el mayor fabricante de ordenadores de EEUU en los tiempos en que se creó Internet.
ICANN	<i>Internet Corporation for Assigned Names and Numbers</i> : organización sin ánimo de lucro creada en 1988 para para coordinar y supervisar el sistema global de identificadores únicos de Internet, tales como direcciones IP, dominios y otros.
ICCB	<i>Internet Configuration Control Board</i> comité creado en 1979 en DARPA para asesoramiento técnico hasta que apareció IAB
IEC	<i>International Electrotechnical Commision</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i> : organización perteneciente a ISOC que produce las normas de Internet, denominadas RFC
IGF	<i>Internet Governance Forum</i>
IMAP	<i>Internet Message Access Protocol</i> : Protocolo de acceso y gestión de emails guardados en un servidor, definido inicialmente en RFC 1064
Internet	Red de datos basada en la pila de protocolos TCP/IP
IP	<i>Internet Protocol</i> : el protocolo de nivel de red de la arquitectura TCP/IP, que da nombre a Internet
IPv4	Versión 4 del protocolo IP con la que nació Internet en 1983
IPv6	Versión 6 del protocolo IP finalizada en 1988 para solucionar el agotamiento de direcciones y algunos otros problemas de IPv4
IRIS	<i>Interconexión de Recursos InformáticoS</i> : programa de investigación que llevó a la creación de RedIRIS
ISO	International Standard Organization
ISOC	<i>Internet Society</i> : Organización sin ánimo de lucro creada en 1992 para dar cobertura formal a todos los comités de gobernanza de Internet
ISODE	Implementación de los protocolos OSI de ISO
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
IX	<i>Internet eXchange point</i> , punto de intercambio de tráfico entre sub-redes IP
MEC	Ministerio de Educación y Ciencia
Minitel	Servicio de la PTT francesa muy popular antes de Internet
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> : protocolo de mensajería ligero basado en un modelo de publicación/subscripción.
MW	<i>Middleware</i> : capa intermedia de SW que actúa de intermediario entre aplicaciones, servicios, sistemas operativos o bases de datos.
NCSA Mo-saic	Navegador Mosaic desarrollado en el <i>National Center for Supercomputing Applications</i> de la Universidad de Illinois

NPL	<i>National Physical Laboratory</i> del Reino Unido
NPLNET	Prototipo de red de paquetes muy pionera creada en NPL
NSFNET	<i>National Science Foundation NETwork</i> : red IP de acceso a centros de supercomputación de EEUU desplegada en 1986 con una estructura jerárquica de subredes conectadas con IX (<i>Exchange points</i>)
OSI	<i>Open System Interconnection</i> , arquitectura desarrollada por ISO para interconexión de redes heterogéneas
Paquete	Bloque de bits de tamaño máximo definido, utilizado en una red de paquetes para transportar información
POP3	<i>Post Office Protocol version 3</i> : protocolo de descarga de emails desde un servidor a tu dispositivo, definido en el RFC 1939
PPP	<i>Point-to-Point Protocol</i> : protocolo de conexión a Internet a través de modem telefónico.
PTT	<i>Post, Telegraph and Telephone</i> : acrónimo utilizado para designar a las organizaciones que daban estos servicios
PUP network	<i>PARC Universal Packet Network</i> : red con capacidad de interconexión de redes precursora Internet en Xerox PARC
QUIC	QUIC (<i>Quick Udp Internet Connections</i>): protocolo de conexiones rápidas en UDP, que actualmente está sustituyendo a TCP
RARE	<i>Reseaux Academiques y de Recherche Europeens</i>
RDSI	<i>Red Digital de Servicios Integrados</i>
RDSI-BA	RDSI de Banda Ancha
RedIRIS	<i>Red académica española de Interconexión de Recursos InformáticoS</i>
REST	<i>REpresentational State Transfer</i> : Metodología de desarrollo de aplicaciones sin estado muy utilizada en la Web por su gran eficacia.
RETD	<i>Red Especial de Transmisión de Datos</i> : red pionera de conmutación de paquetes, ofrecida por Telefónica como un servicio comercial.
RFC	<i>Request For Comments</i> : documentos que contienen las normas utilizadas en Internet, tanto para definir sus protocolos, como sus normas de funcionamiento
RICA	Red Informática Científica de Andalucía
RIR	<i>Regional Internet Registry</i>
RSAN	Arquitectura de protocolos utilizados en la RETD de Telefónica
RUNET	Red Universitaria
Sideral	<i>Servicio de Interconexión DE Redes de Área Local</i> : servicio de conectividad IP a través de la red X.25 ARTIX ofrecido por RedIRIS en 1991
SITA	Red muy pionera creada por la <i>Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques</i> para reserva de billetes aéreos
SLIP	<i>Serial Line Internet Protocol</i> : Protocolo sencillo para conectarse a Internet a través de líneas serie anterior a PPP
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i> : Protocolo de envío de emails a través de Internet definido inicialmente en la RFC 821 de 1982

SNA	<i>Systems Network Architecture</i> : arquitectura de red propietaria de IBM
SO	<i>Sistema Operativo</i> : programa que controla el HW de un ordenador y se comunica con los usuarios y con otros ordenadores o dispositivos con los que interacciona el ordenador.
SRI	<i>Stanford Research Institute</i> .
SSH	<i>Secure SHell</i> : protocolo (y comando) seguro de terminal virtual
SUN	Acrónimo de <i>Stanford University Network</i> usado por la empresa <i>SUN Microsystems</i> , popular fabricante de sistemas con BSD UNIX interconectados con redes ethernet y TCP/IP, creado en 1982.
SW	<i>Software</i> : partes lógicas y tangibles del ordenador, que incluyen todos los programas que se ejecutan en él y le dicen lo que debe hacer.
NCSA Mosaic	Navegador Mosaic desarrollado en el <i>National Center for Supercomputing Applications</i> de la Universidad de Illinois
NSFNET	<i>National Science Foundation NETwork</i> : red IP de acceso a centros de supercomputación de EEUU desplegada en 1986 con una estructura jerárquica de subredes conectadas con IX (<i>Exchange points</i>)
TCP/IP	Pila de protocolos de Internet, que incluye TCP, UDP e IP
TERENA	Trans-European Research and Education Networking Association
TESYS	Telefónica Secoinsa Y Sitre: nombre del conmutador de paquetes diseñado por estas tres empresas, que se utilizó en la RETD e IBERPAC
TIC	Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones
TLS	<i>Transport Layer Security</i> : capa de transporte seguro de información
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> : protocolo de transporte de información orientado a conexión. Crea conexiones TCP para intercambio de información entre procesos de ordenadores de Internet
TYMNET	Red de paquetes muy pionera en EEUU para conectar terminales remotos a grandes ordenadores usada en bancos, gobiernos y otros
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> : protocolo de transporte de información con datagramas
UNIX	SO de ordenador desarrollado en Bell Labs, que fue muy popular y tiene múltiples variantes tales como BSD, System V, Linux, ..
UAB	Universidad Autónoma de Barcelona
UAM	Universidad Autónoma de Madrid
UB	Universidad de Barcelona
UC	Universidad de Cantabria
UCB	University of California Berkeley
UCLA	University of California Los Angeles
UCSB	University of California Santa Barbara
UNIVAC	Fabricante de ordenadores muy pionero en EEUU
UPC	Universidad Politécnica de Catalunya
UPM	Universidad Politécnica de Madrid

URL	<i>Universal Resource Locator</i> : dirección de un recurso en Internet
USENET	<i>Users Network</i> : red de usuarios de UNIX basada en UUCP donde se desarrollaron las news, que fueron los primeros foros de debate
UUCP	<i>Unix to Unix Copy Protocol</i> : protocolo utilizado en las primeras redes entre ordenadores con el SO UNIX
UUCPNET	red inicial entre ordenadores con el SO UNIX basada en UUCP
VMS	Sistema operativo de los ordenadores Vax de la casa DEC
Web	Aplicación de publicación de documentos y servicios hipertexto en Internet
WebRTC	<i>Web Real-Time Communications</i> : Protocolo para comunicación directa entre navegadores de audio, video o datos
WebSockets	Protocolo que permite establecer conexiones tipo TCP entre clientes y servidores Web
WHATWG	<i>Web Hypertext Application Technology Working Group</i> : comité que define las normas de HTML5
WIFI	Red local inalámbrica que sigue las diversas variantes de la norma IEEE 802.11 (b, a, g, n, ac, ax...) que aparecen a partir de 1997
WWW	<i>World Wide Web</i> : se utiliza también para referirse a la Web
X.25	Norma de protocolo de red orientado a conexión del CCITT
X.400	Protocolos de normalizados por el CCITT para servicios de email
X.500	Protocolos de normalizados por el CCITT para directorio distribuidos

Bibliografía

[ABC 95] Distribution of ABC'95 over the European ATM Pilot Network with the ISABEL application. J. Quemada, T.P. de Miguel, A. Azcorra, S. Pavón, J. Salvachua, M. Petit, J.I. Moreno, P.L. Chas, C. Acuña, L. Rodrigues, V. Lagarto, J. Bastos, F. Fontes, J. Domingues. Broadband Islands '95. September 1995.

[AIRTEL 25] AIRTEL, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
<https://es.wikipedia.org/wiki/Airtel>

[Ancochea 96] Las Comunicaciones integradas de Banda Ancha, German Ancochea, BIT, enero-febrero, 1996.

[Andreessen 25] Marc Andreessen, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Marc_Andreessen

[ATM 25] ATM – Asynchronous Transfer Mode, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Asynchronous_Transfer_Mode

[AUI 96] Asociación de Usuarios de Internet, primera Web de la AUI, actualizada hasta 1996, consultada en julio de 2025.
<http://web.archive.org/web/19961029135804/http://www.aui.es/bienveni.htm>

[AUI 25] Asociación de Usuarios de Internet, Web actual de la AUI, actualizada hasta 1996, consultada en julio de 2025. <https://au.es>

[Baran 02] “The Beginnings of Packet Switching: Some Underlying Concepts”, P. Baran. IEEE Communications Magazine, July 2002, Vol. 40, No.7, pp. 42-48.
<https://web.cs.ucla.edu/~lixia/papers/Baran2002.pdf>

[Barberá 98] Retazos de una década prodigiosa, José Barberá, Boletín de RedIris n. 44, julio de 1998. <https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/44/enfoque2.html>

[Barberá 18] El surgimiento de RedIRIS y su transformación, José Barberá, La evolución de Internet en España: del Tesys a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 133-151. <https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesys-a-la-economia-digital>

[BabyBells 25] Baby Bells, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
https://es.wikipedia.org/wiki/Baby_Bells

[Berners 94] "The World Wide Web". T. Berners-Lee, R. Cailliau, A. Loutonen, H. Friestyk Nielsen and A. Secret, Communications of the ACM, Vol. 37, No. 8 (Aug-94), pp 76-82.
<https://dl.acm.org/doi/10.1145/179606.179671>

[Berrocal 89] ARTIX: Interconexión de subredes X.25, Julio Berrocal, David Fernández, Encarna Pastor y Juan Riera., Boletín de RedIris número 2-3, octubre de 1989, pp 47-52.
<https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/artix-interconexion-con-subredes-x-25>

[Blázquez 89] El programa IRIS en su segundo año de actividad, Carlos Blázquez, Boletín de RedIris número 0, abril de 1989, pp. 10-13.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/0/iris-boletin-0.pdf>

[Blázquez 90] La red IXI, Carlos Blázquez, Boletín de RedIris número 8, septiembre de 1990, pp. 22-31.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/8/iris-boletin-8.pdf>

[Browser 25] History of the Web Browser, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_web_browser

[BWar 25] Browser Wars, Wikipedia, consultada en julio 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Browser_wars

[BSD 25] Berkeley Software Distribution, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Berkeley_Software_Distribution

[Caballero 16] El otro Goya que hizo historia: así nació el primer proveedor de internet en España, Lucía Caballero, septiembre de 2016, Periodico online elDiario.es.
https://www.eldiario.es/hojaderouter/internet/goya-servicios-telematicos-internet-upm-eunet-rediris_1_3845405.html

[Camacho 90] DECnet Phase V: La gran migración, Ángel J. Camacho Rozas, Boletín de RedIris número 8, septiembre de 1990, pp 13-17.
<https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/decnet-phase-v-la-gran-migracion>

[Campos 89] La Red EARN, Miguel Ángel Campos, Boletín de RedIris número 2-3, octubre de 1989, pp 12-17. <https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/la-red-earn>

[Cardinal 22] First Commercial Wireless Phone Call Made on October 13, 1983 at Soldier Field, Cardinal News, Periódico digital, 13-octubre-2022.
<https://www.arlingtoncardinal.com/2022/10/first-commercial-wireless-phone-call-made-on-october-13-1983-at-soldier-field/>

[Castelo 89] RedIRIS: Balance gestión 94-95 y previsiones de futuro, Víctor Castelo, Boletín de RedIris número 34, diciembre de 1995, pp 5-7.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/34/ponencia1.html>

[CDN 25] Content Delivery Networks, Wikipedia, consultada en julio 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network

[Cerf 74] A Protocol for Packet Network Intercommunication, V. Cerf, R. Kahn,
IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-22, No. 5, may 1974
<https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall06/cos561/papers/cerf74.pdf>

[Cerf 95] IETF and the Internet Society: A bit of history. 18 July 1995, Internet Society.
<https://www.isoc.org/internet/history-of-the-internet/ietf-internet-society/>

[CERN 25] A short history of the Web. Web del CERN, consultada en julio de 2025.
<https://home.cern/science/computing/birth-web/short-history-web>

[CroDoc 22] Servicom. Blog CroDoc – Cronología de la Documentación Española, 2022.
<https://www.crodoc.es/ficha127>

[CSNET 25] CSNET, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
<https://en.wikipedia.org/wiki/CSNET>

[CSS 25] CSS, Wikipedia, consultada en julio de 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/CSS>

[Davies 01] An Historical Study of the Beginnings of Packet Switching, D. W. Davies, British Computer Society Journal, vol. 44, no. 3, 2001, pp. 151–62.

[Decina 86] Decina, M; Scace, E. CCITT Recommendations on the ISDN: A Review. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 4 Issue 3, May 1986. [ISSN 0733-8716](#). [doi:10.1109/JSAC.1986.1146333](#)

[Deering 98] “Internet Protocol Version 6 Specification, S. Deering, R. Hinden. RFC 2460, ISOC-IETF 1998. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2460>

[DeMiguel 03] “Programming guidelines on transition to IPv6”, Tomás De Miguel and Eva Castro, LONG Project Research Report, IPv6 TF Spain, January 2003. https://www.ipv6-es.com/05/documents/long/trans_ipv6_v014.pdf

[DeMiguel 10] Informe de gestión de RedIRIS 2009, Tomás de Miguel, Alberto Pérez, Diego López, Esther Robles y Antonio Fuentes, Boletín de RedIris número 88-89, abril de 2010. <https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/88-89/InformeGestion.pdf>

[DNS 25] Domain Name System, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Domain_Name_System

[DANTE 25] Delivery of Advanced Network Technology to Europe (DANTE), Wikipedia, consultada en julio de 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/DANTE>

[Efe 10] La Politécnica de Madrid conmemora el 25 aniversario de la @ en España, Agencia Efe, 29 de noviembre de 201, cincodias.elpais.com.
https://cincodias.elpais.com/cincodias/2010/11/29/tecnologia/1291272404_850215.html

[ElPaís 98] Telefónica lanza el nuevo servicio que sustituirá a Infovía, El País, 20 de mayo de 1998. https://elpais.com/diario/1998/05/20/sociedad/895615213_850215.html

[EMAIL 25] EMAIL, Wikipedia, consultada en julio de 2025
<https://en.wikipedia.org/wiki/Email>

[Ethernet 25] Ethernet, Wikipedia, consultada en julio de 2025.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>

[EUNET 25] About EUNET, Web de EUNET, consultada en julio de 2025.
<https://eUNET.com/?page=vz>

[GEANT 25] GÉANT (*Gigabit European Academic Network*), Wikipedia, consultada en julio de 2025,
<https://en.wikipedia.org/wiki/GEANT>

[Golderos 18] Gestación y desarrollo de una red pública de datos en España: De la RETD a Infovía, Antonio Golderos, La evolución de Internet en España: del Tesys a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 154-159.
<https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesys-a-la-economia-digital>

[González 89] Servicios de directorio, Andrés González Lanceros, Juan A. Saras, Boletín de RedIris número 1, octubre de 1989, pp 39-46.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/1/iris-boletin-1.pdf>

[Hauben 98] The Social Forces Behind the Development of Usenet (Chapter 3), Michael Hauben, Ronda Hauben, First Monday, Vol. 3, number 7, July 1998.
<https://www.columbia.edu/~hauben/book-pdf/CHAPTER%203.pdf>

[HTML 25] HTML, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
<https://en.wikipedia.org/wiki/HTML>

[HTML5 25] HTML5, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
<https://en.wikipedia.org/wiki/HTML5>

[HTTP 25] HTTP, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
<https://en.wikipedia.org/wiki/HTTP>

[Hypertext 25] Hypertext, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Hypertext>

- [HW 25] History of the World Wide Web, Wikipedia, consultada en julio de 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_World_Wide_Web
- [IAB 02] "A Brief History of the Internet Advisory/Activities/Architecture Board", IAB, 2002. <https://www.iab.org/about/history/>
- [IANA 16] The History of IANA, J. Snyder, K. Komaitis, A. Robachevsky, Internet Society, 2016 <https://www.internetsociety.org/ianatimeline/>
- [ICANN 25] ICANN, Wikipedia, consultada en julio 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/ICANN>
- [IETF 25] Internet Engineering Task Force, Web, consultada en julio de 2025, <https://www.ietf.org/about/introduction/>
- [IGF 25] Internet Governance Forum, Web, consultada en julio de 2025, <https://www.intgovforum.org/en>
- [IS 25a] Internet Society, Wikipedia, consultada en julio de 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Society
- [IS 25b] Internet Society, Web de la organización, consultada en julio de 2025, <https://www.internetsociety.org/>
- [Infante 02] El desarrollo de la red pública de datos en España (1971-1991): un caso de avance tecnológico en condiciones adversas, Jorge Infante, BIT, 2002, <https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/item/el-desarrollo-de-la-red-publica-de-datos-en-espana-1971-1991-un-caso-de-avance-tecnologico-en-condiciones-adversas>
- [InfoVía 25] InfoVía, Wikipedia, consultada en julio de 2025, <https://es.wikipedia.org/wiki/InfoVía>
- [IPv6 25] IPv6, Wikipedia, consultada en julio de 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6>
- [IPv6F 25] IPv6 Forum, Web, consultada en julio de 2025, <https://ipv6forum.com>
- [IRIS 85] "Proyecto IRIS" Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia, noviembre de 1985, <https://www.rediris.es/rediris/historia/programa-iris.pdf>
- [ISABEL 96] ISABEL: A CSCW application for the distribution of events. J. Quemada, T.P. de Miguel, A. Azcorra, S. Pavón, J. Salvachua, M. Petit, D. Larrabeiti T. Robles, G. Huecas. COST 237 Workshop on Multimedia Networks and Systems, Barcelona, November 1996. https://www.researchgate.net/publication/220716864_ISABEL_A_CSCW_application_for_the_distribution_of_events#fullTextFileContent

[ISODE 25] ISO Development Environment, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_Development_Environment

[Jordán 91] Nuevos servicios de acceso ODA y X.400, Francisco Jordán, Jaime Delgado y Manel Medina, Boletín de RedIris número 13, septiembre de 1991, pp. 33-37.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/11-12/iris-boletin-11-12.pdf>

[JS 25] JavaScript, Wikipedia, consultada en julio de 2025,
<https://en.wikipedia.org/wiki/JavaScript>

[Kleinrock 62] Message Delay in Communication Networks with Storage, Leonard Kleinrock, PhD Dissertation at MIT. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/11562>

[Kleinrock 10] An early History of the Internet, Leonard Kleinrock, IEEE Communications Magazine, August 2010.
https://www.lk.cs.ucla.edu/data/files/Kleinrock/An%20Early%20History%20Of%20The%20Internet.pdf?utm_source=chatgpt.com

[Leiner 97] "A Brief History of the Internet", B. Leiner, V. Cerf, D. Clark, R. Kahn, L. Kleinrock, D. Lynch, J. Postel, L. Roberts, S. Wolf. Internet Society, 1997.
<https://www.internetsociety.org/internet/history-internet/brief-history-internet/>

[Linares 18] Una mirada a Internet desde las comunicaciones fijas, Julio Linares, La evolución de Internet en España: del Tesis a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 181-187. <https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesis-a-la-economia-digital>

[López 98] ¡10 años! ¿Sólo 10 años?, Ramon López de Arenosa, Boletín de RedIris número 44, julio de 1998.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/44/enfoque1.html>

[Lorenzo 18] La liberalización de las Telecomunicaciones y el impulso de Internet en España, Bernardo Lorenzo, La evolución de Internet en España: del Tesis a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 195-200.
<https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesis-a-la-economia-digital>

[Mañas 89] EUNET en España, José Antonio Mañas, Boletín de RedIris número 2-3, octubre de 1989, pp. 18-25. <https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/eunet-en-espana>

[Martínez 89] El servicio de mensajería electrónica del programa IRIS, Ignacio Martínez, Boletín de RedIris número 0, abril de 1989, pp 6-9.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/0/iris-boletin-0.pdf>

[Martínez 90] El servicio IP en IRIS, Ignacio Martínez, Boletín de RedIris número 9-10, diciembre de 1990, pp. 20-21. <https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/el-servicio-ip-en-iris>

[Mockapetris 87] "Domain Names – Implementation and Specification", Paul Mockapetris, november 1987, RFC 1035, IETF, <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1035>

[Mogín 90] El servicio Mensatex, Jesús Mogín Barquín, Boletín de RedIris número 6, abril de 1990, pp 10-12.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/6/iris-boletin-6.pdf>

[Mollinedo 89] FAENET: Red Española de Cálculo para la Física de Altas Energías, Antonio Mollinedo, Boletín de RedIris n. 4, diciembre de 1989, 7-10.
<https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/faenet-red-espanola-de-calculo-para-la-fisica-de-altas-energias>

[Molist 02] La Web Española cumple diez años, Merce Molist, Blog de Merce Molist, diciembre de 2002, <https://www.mercemolist.net/webantiga/2002/adell.html>

[Montañana 91] Integración de un IBM S/370 en un entorno heterogéneo, Rogelio Montañana, Boletín de RedIris número 11-12, abril de 1991, pp. 22-31.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/11-12/iris-boletin-11-12.pdf>

[Nadal 18] Internet, la red que nadie esperaba, Javier Nadal Ariño, La evolución de Internet en España: del Tesys a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 190-194. <https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesys-a-la-economia-digital>

[Navarro 90] Comunicación de grupos: El servicio de mensajes, Boletín de RedIris número 9, diciembre de 1990, pp. 45-90.
<https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/8/iris-boletin-8.pdf>

[NSFNET 25] National Science Foundation Network, Wikipedia, consultada en julio de 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/National_Science_Foundation_Network

[Nelson 25] The History of eCommerce Timeline, The fulfillmentLab Blog, Rick Nelson, 2023, <https://www.thefulfillmentlab.com/blog/history-of-ecommerce>

[OSI 25] OSI Model, Wikipedia, consultada en julio 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model

[PDH 25] Plesiocronous Digital Hierarchy, Wikipedia, consultada en julio 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Plesiochronous_digital_hierarchy

[Pérez 02] Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages, Edward Elgar, 2002, ISBN 1843763311.
https://en.wikipedia.org/wiki/Technological_Revolutions_and_Financial_Capital

[Pérez 18] La evolución de Internet en España: del Tesys a la economía digital Jorge Pérez, Zoraida Frías y Alberto Urueña. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3.
<https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesys-a-la-economia-digital>

[PTI 16] Public Technical Identifiers, ICANN, 2016. <https://pti.icann.org/>

[Quemada 18] Los comienzos de Internet vistos desde la Universidad española, Juan Quemada, La evolución de Internet en España: del Tesys a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 120-132.
<https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesys-a-la-economia-digital>

[Quemada 19] Día de Internet: el nacimiento de Internet en nuestro país desde la perspectiva de los investigadores que desarrollaron su implantación en nuestro país, Juan Quemada. Canal de Noticias UPM 17-05-2019.
<https://www.upm.es/?id=dd2a12674a4ca610VgnVCM10000009c7648a&prefmt=articulo&fmt=detail>

[Quemada 24] La primera conexión española al correo de internet entra en el museo de la ETSIT, Juan Quemada. Canal de Noticias UPM 23-05-2024.
<https://www.upm.es/upm?id=CON11584&prefmt=articulo&fmt=detail>

[QUIC 25] QUIC, Wikipedia, consultada en julio de 2025 <https://en.wikipedia.org/wiki/QUIC>

[RDSI 25] Red Digital de Servicios Integrados, Wikipedia, consultada en julio 2025, https://es.wikipedia.org/wiki/Red_digital_de_servicios_integrados

[RDSI-BA 25] Broadband Integrated Services Digital Network, Wikipedia, consultada en julio 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Broadband_Integrated_Services_Digital_Network

[Retevision 25] Retevisión, Wikipedia, consultada en julio 2025, <https://es.wikipedia.org/wiki/Retevisión>

[REST 25] REST, Wikipedia, consultada en julio 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/REST>

[Riera 89] OSI: Una cuestión de fe, esperanza y paciencia, Juan Riera, Boletín de RedIris n. 4, diciembre de 1989, pp. 3-6. <https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/osi-una-question-de-fe-esperanza-y-paciencia>

[Roberts 78] The Evolution of Packet Switching, L. G. Roberts, Proceedings of the IEEE, Nov, 1978 (<https://www.ece.ucf.edu/~yuksem/teaching/nae/reading/1978-roberts.pdf>)

[Rodriguez-Ovejero 21] Luis Rodriguez-Ovejero Alonso, Feliciano Robles, Blog de Asturianos Ilustres, 23 de junio de 2021
<https://ilustresasturianos.blogspot.com/2021/06/luis-rodriguez-ovejero.html>

[Román 18] Internet en España 2003-2009: hacia la convergencia, Francisco Román, La evolución de Internet en España: del Tesis a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 175-180. <https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesis-a-la-economia-digital>

[Ros 18] Tecnologías de la información en España en la primera década del s.XXI, Francisco Ros, La evolución de Internet en España: del Tesis a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 201-211. <https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesis-a-la-economia-digital>

[Sanchez 89] Red Informática Científica de Andalucía, Gustavo Sanchez Gómez, Boletín de RedIRIS número 0, abril 1990, 14-16. <https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/red-informatica-cientifica-de-andalucia>

[Sanz 90] Servicio multipasarela de correo electrónico del CIEMAT, Jesús Sanz de las Heras, Boletín de RedIRIS número 6, abril de 1989, pp. 13-16. <https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/red-informatica-cientifica-de-andalucia>

[Sanz 97] Evolución del Servicio de Internet de RedIRIS, Miguel Angel Sanz, Proyecto Fin de Carrera, ETSI Telecomunicaciones, 1997. <https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/evolucion-del-servicio-de-internet-de-rediris>

[Saras 89] Pasarela EUNET/X.400, Juan A. Saras, Boletín de RedIris número 1, octubre de 1989, pp 53-55. <https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/1/iris-boletin-1.pdf>

[SDH 25] Synchronous Optical Networking, Wikipedia, consultada en julio de 2025 https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_optical_networking

[SE 25] Search Engine, Wikipedia, consultada en julio de 2025 https://en.wikipedia.org/wiki/Search_engine

[Sendmail 25] Sendmail, Wikipedia, consultada en julio de 2025 <https://es.wikipedia.org/wiki/Sendmail>

[Server 25] Web Server, Wikipedia, consultada en julio de 2025 https://en.wikipedia.org/wiki/Web_server

[SERVICOM 22] Servicom, Web de CroDoc, Cronología de la Documentación Española, versión 2022. <https://www.crodoc.es/ficha127>

[SOAP 25] SOAP, Wikipedia, consultada en julio de 2025 <https://en.wikipedia.org/wiki/SOAP>

[Sotelo 25] Historia del eCommerce en España, Rafael Sotelo, Marketing4eCommerce, marzo de 2025, <https://marketing4ecommerce.net/historia-del-ecommerce-en-espana/#:~:text=Hay%20quien%20se%20atreve%20a%20citar%20la%20venta,realizar%20transacciones%20electrónicas%20e%20intercambios%20de%20información%20comercial>

[Standage 98] The Victorian Internet, Tom Standage 1998

[Telefónica 24] Telefónica 1924-2024: Una mirada a nuestro pasado, presente y futuro, Web creada por Telefónica en el centenario, consultada en julio de 2025. <https://www.telefonica100.com/year/1999>

[TCP 25] Transmission Control Protocol, Wikipedia, consultada en julio de 2025 https://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol

[TERENA 25] TERENA (Trans-European Research and Education Networking Association), Wikipedia, visitado en julio de 2025 <https://en.wikipedia.org/wiki/TERENA>

[Timeline 25] Timeline of e-commerce, Wikipedia, consultada en julio de 2025 https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_e-commerce

[Tomás 89] ISODE una realización específica de OSI, Celestino Tomás Guirao, Boletín de RedIris número 4, diciembre de 1989, pp 11-15. <https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/4/iris-boletin-4.pdf>

[Tomlinson 25] Ray Tomlinson, Wikipedia, consultada en julio de 2025 https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_Tomlinson

[Torvalds 25] Linus Torvalds, Wikipedia, consultada en julio de 2025 https://en.wikipedia.org/wiki/Linus_Torvalds

[UDP 25] User Datagram Protocol, Wikipedia, consultada en julio de 2025 https://en.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol

[UNIX 78] UNIX Time-Sharing System: The UNIX Operating System as a Base for Applications. Luderer, G.W.R.; Maranzano, J.F.; Tague, B.A., Bell System Technical Journal, 57: 6. July-August 1978 pp 2201-2207. <https://archive.org/details/bstj57-6-1899>

[Vea 02] Historia, Sociedad, Tecnología y Crecimiento de la Red. Una aproximación divulgativa a la realidad más desconocida de Internet, Andreu Vea, Tesis Doctoral, 2002, Universidad Ramon Llull. https://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/redes-de-datos-e-internet/item/historia-sociedad-tecnologia-y-crecimiento-de-la-red-una-aproximacion-divulgativa-a-la-realidad-mas-desconocida-de-internet-2?category_id=262

[Vea 13] Como creamos Internet, Andreu Vea, mayo de 2013, editado por RedIRIS (red.es) ISBN 978-84-616-1586-5

[Vea 18] La perspectiva de un proveedor local, Andreu Vea, La evolución de Internet en España: del Tesis a la economía digital. Red.es, 2018, ISBN 978-84-09-00778-3, pp. 160-174. <https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/50-anos-de-la-red-de-redes-la-evolucion-de-internet-en-espana-del-tesis-a-la-economia-digital>

[W3C 25] World Wide Web Consortium, Wikipedia, consultada en julio de 2025
https://en.wikipedia.org/wiki/World_Wide_Web_Consortium

[Waddington 02] Realizing the Transition to IPv6, D. Waddington and F. Chang. IEEE Communications Magazine, June 2002, Vol. 40, No.6, pp. 138-148.
<https://dl.acm.org/doi/10.1109/MCOM.2002.1007420>

[XHTML 25] XHTML, Wikipedia, consultada en julio de 2025
<https://en.wikipedia.org/wiki/XHTML>