

Una breve historia de Internet

(Primera Parte)

Barry M. Leiner, Vinton G. Cerf, David D. Clark, Robert E. Kahn, Leonard Kleinrock,

Daniel C. Lynch, Jon Postel, Lawrence G. Roberts, Stephen Wolff

Ilustraciones de Kevin Griffin

Traducción: Alonso Alvarez, Llorenç Pagés

Internet ha supuesto una revolución sin precedentes en el mundo de la informática y de las comunicaciones. Los inventos del telégrafo, teléfono, radio y ordenador sentaron las bases para esta integración de capacidades nunca antes vivida. Internet es a la vez una oportunidad de difusión mundial, un mecanismo de propagación de la información y un medio de colaboración e interacción entre los individuos y sus ordenadores independientemente de su localización geográfica.

Internet representa uno de los ejemplos más exitosos de los beneficios de la inversión sostenida y del compromiso de investigación y desarrollo en infraestructuras informáticas. A raíz de la primitiva investigación en conmutación de paquetes, el gobierno, la industria y el mundo académico han sido copartícipes de la evolución y desarrollo de esta nueva y excitante tecnología. Hoy en día, términos como *leiner@mcc.com* y *http: www.acm.org* fluyen fácilmente en el lenguaje común de las personas (1).

Esta pretende ser una historia breve y, necesariamente, superficial e incompleta, de Internet. Existe actualmente una gran cantidad de material sobre la historia, tecnología y uso de Internet. Un paseo por casi cualquier librería nos descubrirá un montón de estanterías con material escrito sobre Internet (2).

En este artículo (3), varios de nosotros, implicados en el desarrollo y evolución de Internet, compartimos nuestros puntos de vista sobre sus orígenes e historia. Esta historia gira en torno a cuatro aspectos distintos. Existe una evolución tecnológica que comienza con la primitiva investigación en conmutación de paquetes, ARPANET y tecnologías relacionadas en virtud de la cual la investigación actual continúa tratando de expandir los horizontes de la infraestructura en dimensiones tales como escala, rendimiento y funcionalidades de alto nivel. Hay aspectos de operación y gestión de una infraestructura operacional global y compleja. Existen aspectos sociales, que tuvieron como consecuencia el nacimiento de una amplia comunidad de internautas trabajando juntos para crear y hacer evolucionar la tecnología. Y finalmente, el aspecto de comercialización que desemboca en una transición enormemente efectiva desde los

resultados de la investigación hacia una infraestructura informática ampliamente desarrollada y disponible.

Internet hoy en día es una infraestructura informática ampliamente extendida. Su primer prototipo es a menudo denominado *National Global or Galactic Information Infrastructure* (Infraestructura de Información Nacional Global o Galáctica). Su historia es compleja y comprende muchos aspectos: tecnológico, organizacional y comunitario. Y su influencia alcanza no solamente al campo técnico de las comunicaciones computacionales sino también a toda la sociedad en la medida en que nos movemos hacia el incremento del uso de las herramientas *online* para llevar a cabo el comercio electrónico, la adquisición de información y la acción en comunidad.

Orígenes de Internet

La primera descripción documentada acerca de las interacciones sociales que podrían ser propiciadas a través del *networking* (trabajo en red) está contenida en una serie de memorándums escritos por J.C.R. Licklider, del Massachusetts Institute of Technology, en Agosto de 1962, en los cuales Licklider discute sobre su concepto de *Galactic Network* (Red Galáctica). Él concibió una red interconectada globalmente a través de la que cada uno pudiera acceder desde cualquier lugar a datos y programas. En esencia, el concepto era muy parecido a la Internet actual. Licklider fue el principal responsable del programa de investigación en ordenadores de la DARPA (4) desde Octubre de 1962. Mientras trabajó en DARPA convenció a sus sucesores Ivan Sutherland, Bob Taylor, y el investigador del MIT Lawrence G. Roberts de la importancia del concepto de trabajo en red.

En Julio de 1961 Leonard Kleinrock publicó desde el MIT el primer documento sobre la teoría de conmutación de paquetes. Kleinrock convenció a Roberts de la factibilidad teórica de las comunicaciones vía paquetes en lugar de circuitos, lo cual resultó ser un gran avance en el camino hacia el trabajo informático en red. El otro paso fundamental fue hacer dialogar a los ordenadores entre sí. Para explorar este terreno, en 1965, Roberts conectó un ordenador TX2 en Massachusetts con un Q-32 en California a través de una línea telefónica conmutada de baja velocidad, creando así la primera (aunque reducida) red de ordenadores de área amplia jamás construida. El resultado del experimento fue la constatación de que los ordenadores de tiempo compartido podían trabajar juntos correctamente, ejecutando programas y recuperando datos a discreción en la máquina remota, pero que el sistema telefónico de conmutación de circuitos era totalmente inadecuado para esta labor. La convicción de Kleinrock acerca de la necesidad de la conmutación de paquetes quedó pues confirmada.

A finales de 1966 Roberts se trasladó a la DARPA a desarrollar el concepto de red de ordenadores y rápidamente confeccionó su plan para ARPANET, publicándolo en 1967. En la conferencia en la que presentó el documento se exponía también un trabajo sobre el concepto de red de paquetes a cargo de Donald Davies y Roger Scantlebury del NPL. Scantlebury le habló a Roberts sobre su trabajo en el NPL así como sobre el de Paul Baran y otros en RAND. El grupo RAND había escrito un documento sobre redes de conmutación de paquetes para comunicación vocal segura en el ámbito militar, en 1964. Ocurrió que los trabajos del MIT (1961-67), RAND (1962-65) y NPL (1964-67) habían discurrido en paralelo sin que los investigadores hubieran conocido el trabajo de los demás. La palabra *packet* (paquete) fue adoptada a partir del trabajo del NPL y la velocidad de la línea propuesta para ser usada en el diseño de ARPANET fue aumentada desde 2,4 Kbps hasta 50 Kbps (5). En Agosto de 1968, después de que Roberts y la comunidad de la DARPA hubieran refinado la estructura global y las especificaciones de ARPANET, DARPA lanzó un RFQ para el desarrollo de uno de sus componentes clave: los conmutadores de paquetes llamados *interface message processors* (IMPs, procesadores de mensajes de interfaz). El RFQ fue ganado en Diciembre de 1968 por un grupo encabezado por Frank Heart, de Bolt Beranek y Newman (BBN). Así como el equipo de BBN trabajó en IMPs con Bob Kahn tomando un papel principal en el diseño de la arquitectura de la ARPANET global, la topología de red y el aspecto económico fueron diseñados y optimizados por Roberts trabajando con Howard Frank y su equipo en la Network Analysis Corporation, y el sistema de medida de la red fue preparado por el equipo de Kleinrock de la Universidad de California, en Los Angeles (6).

A causa del temprano desarrollo de la teoría de conmutación de paquetes de Kleinrock y su énfasis en el análisis, diseño y medición, su *Network Measurement Center* (Centro de Medidas de Red) en la UCLA fue seleccionado para ser el primer nodo de ARPANET. Todo ello ocurrió en Septiembre de 1969, cuando BBN instaló el primer IMP en la UCLA y quedó conectado el primer ordenador *host*. El proyecto de Doug Engelbart denominado *Augmentation of Human Intellect* (Aumento del Intelecto Humano) que incluía NLS, un primitivo sistema hipertexto en el Instituto de Investigación de Standford (SRI) proporcionó un segundo nodo. El SRI patrocinó el *Network Information Center*, liderado por Elizabeth (Jake) Feinler, que desarrolló funciones tales como mantener tablas de nombres de *host* para la traducción de direcciones así como un directorio de RFCs (*Request For Comments*). Un mes más tarde, cuando el SRI fue conectado a ARPANET, el primer mensaje de *host* a *host* fue enviado desde el laboratorio de Leinrock al SRI. Se añadieron dos nodos en la Universidad de California, Santa Bárbara, y en la Universidad de Utah. Estos dos últimos nodos incorporaron proyectos de visualización de aplicaciones, con Glen Culler y Burton Fried en la

UCSB investigando métodos para mostrar funciones matemáticas mediante el uso de "*storage displays*" (**N. del T.**: mecanismos que incorporan *buffers* de monitorización distribuidos en red para facilitar el refresco de la visualización) para tratar con el problema de refrescar sobre la red, y Robert Taylor y Ivan Sutherland en Utah investigando métodos de representación en 3-D a través de la red. Así, a finales de 1969, cuatro ordenadores *host* fueron conectados conjuntamente a la ARPANET inicial y se hizo realidad una embrionaria Internet. Incluso en esta primitiva etapa, hay que reseñar que la investigación incorporó tanto el trabajo mediante la red ya existente como la mejora de la utilización de dicha red. Esta tradición continúa hasta el día de hoy.

Se siguieron conectando ordenadores rápidamente a la ARPANET durante los años siguientes y el trabajo continuó para completar un protocolo *host a host* funcionalmente completo, así como software adicional de red. En Diciembre de 1970, el *Network Working Group* (NWG) liderado por S.Crocker acabó el protocolo *host a host* inicial para ARPANET, llamado *Network Control Protocol* (NCP, protocolo de control de red). Cuando en los nodos de ARPANET se completó la implementación del NCP durante el periodo 1971-72, los usuarios de la red pudieron finalmente comenzar a desarrollar aplicaciones. En Octubre de 1972, Kahn organizó una gran y muy exitosa demostración de ARPANET en la *International Computer Communication Conference*. Esta fue la primera demostración pública de la nueva tecnología de red. Fue también en 1972 cuando se introdujo la primera aplicación "estrella": el correo electrónico. En Marzo, Ray Tomlinson, de BBN, escribió el software básico de envío-recepción de mensajes de correo electrónico, impulsado por la necesidad que tenían los desarrolladores de ARPANET de un mecanismo sencillo de coordinación. En Julio, Roberts expandió su valor añadido escribiendo el primer programa de utilidad de correo electrónico para relacionar, leer selectivamente, almacenar, reenviar y responder a mensajes. Desde entonces, la aplicación de correo electrónico se convirtió en la mayor de la red durante más de una década. Fue precursora del tipo de actividad que observamos hoy día en la *World Wide Web*, es decir, del enorme crecimiento de todas las formas de tráfico persona a persona.

Conceptos iniciales sobre *Internetting*

La ARPANET original evolucionó hacia Internet. Internet se basó en la idea de que habría múltiples redes independientes, de diseño casi arbitrario, empezando por ARPANET como la red pionera de conmutación de paquetes, pero que pronto incluiría redes de paquetes por satélite, redes de paquetes por radio y otros tipos de red. Internet como ahora la conocemos encierra una idea técnica clave, la de arquitectura abierta de trabajo en red. Bajo este enfoque,

la elección de cualquier tecnología de red individual no respondería a una arquitectura específica de red sino que podría ser seleccionada libremente por un proveedor e interactuar con las otras redes a través del metanivel de la arquitectura de *Internetworking* (trabajo entre redes). Hasta ese momento, había un sólo método para "federar" redes. Era el tradicional método de conmutación de circuitos, por el cual las redes se interconectaban a nivel de circuito pasándose bits individuales síncronamente a lo largo de una porción de circuito que unía un par de sedes finales. Cabe recordar que Kleinrock había mostrado en 1961 que la conmutación de paquetes era el método de conmutación más eficiente. Juntamente con la conmutación de paquetes, las interconexiones de propósito especial entre redes constituían otra posibilidad. Y aunque había otros métodos limitados de interconexión de redes distintas, éstos requerían que una de ellas fuera usada como componente de la otra en lugar de actuar simplemente como un extremo de la comunicación para ofrecer servicio *end-to-end* (extremo a extremo).

En una red de arquitectura abierta, las redes individuales pueden ser diseñadas y desarrolladas separadamente y cada una puede tener su propia y única interfaz, que puede ofrecer a los usuarios y/u otros proveedores, incluyendo otros proveedores de Internet. Cada red puede ser diseñada de acuerdo con su entorno específico y los requerimientos de los usuarios de aquella red. No existen generalmente restricciones en los tipos de red que pueden ser incorporadas ni tampoco en su ámbito geográfico, aunque ciertas consideraciones pragmáticas determinan qué posibilidades tienen sentido. La idea de arquitectura de red abierta fue introducida primeramente por Kahn un poco antes de su llegada a la DARPA en 1972. Este trabajo fue originalmente parte de su programa de paquetería por radio, pero más tarde se convirtió por derecho propio en un programa separado. Entonces, el programa fue llamado *Internetting*. La clave para realizar el trabajo del sistema de paquetería por radio fue un protocolo extremo a extremo seguro que pudiera mantener la comunicación efectiva frente a los cortes e interferencias de radio y que pudiera manejar las pérdidas intermitentes como las causadas por el paso a través de un túnel o el bloqueo a nivel local. Kahn pensó primero en desarrollar un protocolo local sólo para la red de paquetería por radio porque ello le hubiera evitado tratar con la multitud de sistemas operativos distintos y continuar usando NCP.

Sin embargo, NCP no tenía capacidad para direccionar redes y máquinas más allá de un destino IMP en ARPANET y de esta manera se requerían ciertos cambios en el NCP. La premisa era que ARPANET no podía ser cambiado en este aspecto. El NCP se basaba en ARPANET para proporcionar seguridad extremo a extremo. Si alguno de los paquetes se perdía, el protocolo y presumiblemente cualquier aplicación soportada sufriría una grave interrupción. En este modelo, el NCP no tenía control de errores en el *host* porque ARPANET había

de ser la única red existente y era tan fiable que no requería ningún control de errores en la parte de los *hosts*.

Así, Kahn decidió desarrollar una nueva versión del protocolo que pudiera satisfacer las necesidades de un entorno de red de arquitectura abierta. El protocolo podría eventualmente ser denominado "*Transmission-Control Protocol/Internet Protocol*" (TCP/IP, protocolo de control de transmisión /protocolo de Internet). Así como el NCP tendía a actuar como un *driver* (manejador) de dispositivo, el nuevo protocolo sería más bien un protocolo de comunicaciones.

Reglas clave

Cuatro fueron las reglas fundamentales en las primeras ideas de Kahn:

- Cada red distinta debería mantenerse por sí misma y no deberían requerirse cambios internos a ninguna de ellas para conectarse a Internet.
- Las comunicaciones deberían ser establecidas en base a la filosofía del "*best-effort*" (lo mejor posible). Si un paquete no llegara a su destino debería ser en breve retransmitido desde el emisor.
- Para interconectar redes se usarían cajas negras, las cuales más tarde serían denominadas *gateways* (pasarelas) y *routers* (enrutadores). Los *gateways* no deberían almacenar información alguna sobre los flujos individuales de paquetes que circularan a través de ellos, manteniendo de esta manera su simplicidad y evitando la complicada adaptación y recuperación a partir de las diversas modalidades de fallo.
- No habría ningún control global a nivel de operaciones.

Otras cuestiones clave que debían ser resueltas eran:

- Algoritmos para evitar la pérdida de paquetes en base a la invalidación de las comunicaciones y la reiniciación de las mismas para la retransmisión exitosa desde el emisor.
- Provisión de *pipelining* ("tuberías") *host a host* de tal forma que se pudieran enrutar múltiples paquetes desde el origen al destino a discreción de los *hosts* participantes, siempre que las redes intermedias lo permitieran.
- Funciones de pasarela para permitir redirigir los paquetes adecuadamente. Esto incluía la interpretación de las cabeceras IP para enrutado, manejo de interfaces y división de paquetes en trozos más pequeños si fuera necesario.
- La necesidad de controles (*checksums*) extremo a extremo, reensamblaje de paquetes a partir de fragmentos, y detección de duplicados si los hubiere.

- Necesidad de direccionamiento global.
- Técnicas para el control del flujo *host* a *host*.
- Interacción con varios sistemas operativos.
- Implementación eficiente y rendimiento de la red, aunque en principio éstas eran consideraciones secundarias.

Kahn empezó a trabajar en un conjunto de principios para sistemas operativos orientados a comunicaciones mientras se encontraba en BBN y escribió algunas de sus primeras ideas en un memorándum interno de BBN titulado "*Communications Principles for Operating Systems*". En ese momento, se dió cuenta de que le sería necesario aprender los detalles de implementación de cada sistema operativo para tener la posibilidad de incluir nuevos protocolos de manera eficiente. Así, en la primavera de 1973, después de haber empezado el trabajo de "Internetting", le pidió a Vinton Cerf (entonces en la Universidad de Stanford) que trabajara con él en el diseño detallado del protocolo. Cerf había estado íntimamente implicado en el diseño y desarrollo original del NCP y ya tenía conocimientos sobre la construcción de interfaces con los sistemas operativos existentes. De esta forma, valiéndose del enfoque arquitectural de Kahn en cuanto a comunicaciones y de la experiencia en NCP de Cerf, se asociaron para abordar los detalles de lo que acabaría siendo TCP/IP.

El trabajo en común fue altamente productivo y la primera versión escrita (7) bajo este enfoque fue distribuida en una sesión especial del INWG (*International Network Working Group*, Grupo de trabajo sobre redes internacionales) que había sido convocada con motivo de una conferencia de la Universidad de Sussex en Septiembre de 1973. Cerf había sido invitado a presidir el grupo y aprovechó la ocasión para celebrar una reunión de los miembros del INWG, ampliamente representados en esta conferencia de Sussex.

Estas son las directrices básicas que surgieron de la colaboración entre Kahn y Cerf:

- Las comunicaciones entre dos procesos consistirían lógicamente en un larga corriente de bytes; ellos los llamaban "octetos". La posición de un octeto dentro de esta corriente de datos sería usada para identificarlo.
- El control del flujo se realizaría usando ventanas deslizantes y *acks* (**N. del T.**: abreviatura de *acknowledgement*, acuse de recibo). El destinatario podría decidir cuando enviar acuse de recibo y cada *ack* devuelto correspondería a todos los paquetes recibidos hasta el momento.
- Se dejó abierto el modo exacto en que emisor y destinatario acordarían los parámetros sobre los tamaños de las ventanas a usar. Se usaron inicialmente valores por defecto.
- Aunque en aquellos momentos Ethernet estaba en desarrollo en el PARC de Xerox, la proliferación de LANs no había sido prevista entonces y mucho menos la de PCs y estaciones de

trabajo. El modelo original fue concebido como un conjunto, que se esperaba reducido, de redes de ámbito nacional tipo ARPANET. De este modo, se usó una dirección IP de 32 bits, de la cual los primeros 8 identificaban la red y los restantes 24 designaban el *host* dentro de dicha red. La decisión de que 256 redes sería suficiente para el futuro previsible debió empezar a reconsiderarse en cuanto las LANs empezaron a aparecer a finales de los setenta.

El documento original de Cerf y Kahn sobre Internet describía un protocolo, llamado TCP, que se encargaba de proveer todos los servicios de transporte y reenvío en Internet. Kahn pretendía que TCP diera soporte a un amplio rango de servicios de transporte, desde el envío secuencial de datos, totalmente fiable (modelo de circuito virtual) hasta un servicio de datagramas en el que la aplicación hiciera un uso directo del servicio de red subyacente, lo que podría implicar pérdida ocasional, corrupción o reordenación de paquetes. Sin embargo, el esfuerzo inicial de implementación de TCP dio lugar a una versión que sólo permitía circuitos virtuales. Este modelo funcionaba perfectamente en la transferencia de ficheros y en las aplicaciones de *login* remoto, pero algunos de los primeros trabajos sobre aplicaciones avanzadas de redes (en particular el empaquetamiento de voz en los años 70) dejó bien claro que, en ciertos casos, el TCP no debía encargarse de corregir las pérdidas de paquetes y que había que dejar a la aplicación que se ocupara de ello. Esto llevó a la reorganización del TCP original en dos protocolos: uno sencillo, IP, que se encargara tan sólo de dar una dirección a los paquetes y de reenviarlos; y un TCP que se dedicara a una serie de funcionalidades como el control del flujo y la recuperación de los paquetes perdidos. Para aquellas aplicaciones que no precisan los servicios de TCP, se añadió un protocolo alternativo llamado UDP (*User Datagram Protocol*, protocolo de datagramas de usuario) dedicado a dar un acceso directo a los servicios básicos del IP. Una de las motivaciones iniciales de ARPANET e Internet fue compartir recursos, por ejemplo, permitiendo que usuarios de redes de paquetes sobre radio pudieran acceder a sistemas de tiempo compartido conectados a ARPANET. Conectar las dos redes era mucho más económico que duplicar estos carísimos ordenadores. Sin embargo, mientras la transferencia de ficheros y el *login* remoto (Telnet) eran aplicaciones muy importantes, de todas las de esta época probablemente sea el correo electrónico la que haya tenido un impacto más significativo. El correo electrónico dio lugar a un nuevo modelo de comunicación entre las personas y cambió la naturaleza de la colaboración. Su influencia se manifestó en primer lugar en la construcción de la propia Internet (como veremos más adelante), y posteriormente, en buena parte de la sociedad. Se propusieron otras aplicaciones en los primeros tiempos de Internet, desde la comunicación vocal basada en paquetes

(precursora de la telefonía sobre Internet) o varios modelos para compartir ficheros y discos, hasta los primeros "programas-gusano" que mostraban el concepto de agente (y, por supuesto, de virus). Un concepto clave en Internet es que no fue diseñada para una única aplicación sino como una infraestructura general dentro de la que podrían concebirse nuevos servicios, como con posterioridad demostró la aparición de la *World Wide Web*. Este fue posible solamente debido a la orientación de propósito general que tenía el servicio implementado mediante TCP e IP.

Ideas a prueba

DARPA formalizó tres contratos con Stanford (Cerf), BBN (Ray Tomlinson) y UCLA (Peter Kirstein) para implementar TCP/IP (en el documento original de Cerf y Kahn se llamaba simplemente TCP pero contenía ambos componentes). El equipo de Stanford, dirigido por Cerf, produjo las especificaciones detalladas y al cabo de un año hubo tres implementaciones independientes de TCP que podían interoperar.

Este fue el principio de un largo periodo de experimentación y desarrollo para evolucionar y madurar el concepto y tecnología de Internet. Partiendo de las tres primeras redes ARPANET, radio y satélite y de sus comunidades de investigación iniciales, el entorno experimental creció hasta incorporar esencialmente cualquier forma de red y una amplia comunidad de investigación y desarrollo [REK78]. Cada expansión afrontó nuevos desafíos.

Las primeras implementaciones de TCP se hicieron para grandes sistemas en tiempo compartido como Tenex y TOPS 20. Cuando aparecieron los ordenadores de sobremesa (*desktop*), TCP era demasiado grande y complejo como para funcionar en ordenadores personales. David Clark y su equipo de investigación del MIT empezaron a buscar la implementación de TCP más sencilla y compacta posible. La desarrollaron, primero para el Alto de Xerox (la primera estación de trabajo personal desarrollada en el PARC de Xerox), y luego para el PC de IBM. Esta implementación operaba con otras de TCP, pero estaba adaptada al conjunto de aplicaciones y a las prestaciones de un ordenador personal, y demostraba que las estaciones de trabajo, al igual que los grandes sistemas, podían ser parte de Internet.

En los años 80, el desarrollo de LAN, PC y estaciones de trabajo permitió que la naciente Internet floreciera. La tecnología Ethernet, desarrollada por Bob Metcalfe en el PARC de Xerox en 1973, es la dominante en Internet, y los PCs y las estaciones de trabajo los modelos de ordenador dominantes. El cambio que supone pasar de una pocas redes con un modesto número de *hosts* (el modelo original de ARPANET) a tener muchas redes dio lugar a nuevos conceptos y a cambios en la tecnología. En primer lugar, hubo que definir tres

clases de redes (A, B y C) para acomodar todas las existentes. La clase A representa a las redes grandes, a escala nacional (pocas redes con muchos ordenadores); la clase B representa redes regionales; por último, la clase C representa redes de área local (muchas redes con relativamente pocos ordenadores).

Como resultado del crecimiento de Internet, se produjo un cambio de gran importancia para la red y su gestión. Para facilitar el uso de Internet por sus usuarios se asignaron nombres a los *hosts* de forma que resultara innecesario recordar sus direcciones numéricas.

Originalmente había un número muy limitado de máquinas, por lo que bastaba con una simple tabla con todos los ordenadores y sus direcciones asociadas.

El cambio hacia un gran número de redes gestionadas independientemente (por ejemplo, las LAN) significó que no resultara ya fiable tener una pequeña tabla con todos los *hosts*. Esto llevó a la invención del DNS (*Domain Name System*, sistema de nombres de dominio) por Paul Mockapetris de USC/ISI. El DNS permitía un mecanismo escalable y distribuido para resolver jerárquicamente los nombres de los *hosts* (por ejemplo, *www.acm.org* o *www.ati.es*) en direcciones de Internet.

El incremento del tamaño de Internet resultó también un desafío para los *routers*. Originalmente había un sencillo algoritmo de enrutamiento que estaba implementado uniformemente en todos los routers de Internet. A medida que el número de redes en Internet se multiplicaba, el diseño inicial no era ya capaz de expandirse, por lo que fue sustituido por un modelo jerárquico de enrutamiento con un protocolo IGP (*Interior Gateway Protocol*, protocolo interno de pasarela) usado dentro de cada región de Internet y un protocolo EGP (*Exterior Gateway Protocol*, protocolo externo de pasarela) usado para mantener unidas las regiones. El diseño permitía que distintas regiones utilizaran IGP distintos, por lo que los requisitos de coste, velocidad de configuración, robustez y escalabilidad, podían ajustarse a cada situación. Los algoritmos de enrutamiento no eran los únicos en poner en dificultades la capacidad de los *routers*, también lo hacía el tamaño de las tablas de direccionamiento. Se presentaron nuevas aproximaciones a la agregación de direcciones (en particular CIDR, *Classless Interdomain Routing*, enrutamiento entre dominios sin clase) para controlar el tamaño de las tablas de enrutamiento.

A medida que evolucionaba Internet, la propagación de los cambios en el software, especialmente el de los *hosts*, se fue convirtiendo en uno de sus mayores desafíos. DARPA financió a la Universidad de California en Berkeley en una investigación sobre modificaciones en el sistema operativo Unix, incorporando el TCP/IP desarrollado en BBN. Aunque posteriormente Berkeley modificó esta implementación del BBN para que operara de forma más eficiente con el sistema y el kernel de Unix, la incorporación de TCP/IP en el sistema Unix BSD demostró ser un elemento crítico en la difusión de los protocolos entre la comunidad investigadora. BSD empezó a ser utilizado en sus

operaciones diarias por buena parte de la comunidad investigadora en temas relacionados con informática. Visto en perspectiva, la estrategia de incorporar los protocolos de Internet en un sistema operativo utilizado por la comunidad investigadora fue uno de los elementos clave en la exitosa y amplia aceptación de Internet. Uno de los desafíos más interesantes fue la transición del protocolo para *hosts* de ARPANET desde NCP a TCP/IP el 1 de enero de 1983. Se trataba de una ocasión muy importante que exigía que todos los *hosts* se convirtieran simultáneamente o que permanecieran comunicados mediante mecanismos desarrollados para la ocasión. La transición fue cuidadosamente planificada dentro de la comunidad con varios años de antelación a la fecha, pero fue sorprendentemente sobre ruedas (a pesar de dar lugar a la distribución de insignias con la inscripción "Yo sobreviví a la transición a TCP/IP"). TCP/IP había sido adoptado como un estándar por el ejército norteamericano tres años antes, en 1980. Esto permitió al ejército empezar a compartir la tecnología DARPA basada en Internet y llevó a la separación final entre las comunidades militares y no militares. En 1983 ARPANET estaba siendo usada por un número significativo de organizaciones operativas y de investigación y desarrollo en el área de la defensa. La transición desde NCP a TCP/IP en ARPANET permitió la división en una MILNET para dar soporte a requisitos operativos y una ARPANET para las necesidades de investigación. Así, en 1985, Internet estaba firmemente establecida como una tecnología que ayudaba a una amplia comunidad de investigadores y desarrolladores, y empezaba a ser empleada por otros grupos en sus comunicaciones diarias entre ordenadores. El correo electrónico se empleaba ampliamente entre varias comunidades, a menudo entre distintos sistemas. La interconexión entre los diversos sistemas de correo demostraba la utilidad de las comunicaciones electrónicas entre personas.

La transición hacia una infraestructura global

Al mismo tiempo que la tecnología Internet estaba siendo validada experimentalmente y usada ampliamente entre un grupo de investigadores de informática se estaban desarrollando otras redes y tecnologías. La utilidad de las redes de ordenadores (especialmente el correo electrónico utilizado por los contratistas de DARPA y el Departamento de Defensa en ARPANET) siguió siendo evidente para otras comunidades y disciplinas de forma que a mediados de los años 70 las redes de ordenadores comenzaron a difundirse allá donde se podía encontrar financiación para las mismas. El Departamento norteamericano de Energía (DoE, *Department of Energy*) estableció MFENet para sus investigadores que trabajaban sobre energía de fusión, mientras que los físicos de altas energías fueron los encargados de construir HEPNet. Los físicos de la NASA continuaron

con SPAN y Rick Adrion, David Farber y Larry Landweber fundaron CSNET para la comunidad informática académica y de la industria con la financiación inicial de la NFS (*National Science Foundation*, Fundación Nacional de la Ciencia) de Estados Unidos. La libre diseminación del sistema operativo Unix de ATT dio lugar a USENET, basada en los protocolos de comunicación UUCP de Unix, y en 1981 Greydon Freeman e Ira Fuchs diseñaron BITNET, que unía los ordenadores centrales del mundo académico siguiendo el paradigma de correo electrónico como "postales". Con la excepción de BITNET y USENET, todas las primeras redes (como ARPANET) se construyeron para un propósito determinado. Es decir, estaban dedicadas (y restringidas) a comunidades cerradas de estudiosos; de ahí las escasas presiones por hacer estas redes compatibles y, en consecuencia, el hecho de que durante mucho tiempo no lo fueran. Además, estaban empezando a proponerse tecnologías alternativas en el sector comercial, como XNS de Xerox, DECNet, y la SNA de IBM (8). Sólo restaba que los programas ingleses JANET (1984) y norteamericano NSFNET (1985) anunciaran explícitamente que su propósito era servir a toda la comunidad de la enseñanza superior sin importar su disciplina. De hecho, una de las condiciones para que una universidad norteamericana recibiera financiación de la NSF para conectarse a Internet era que "la conexión estuviera disponible para *todos* los usuarios cualificados del campus".

En 1985 Dennis Jennings acudió desde Irlanda para pasar un año en NFS dirigiendo el programa NSFNET. Trabajó con el resto de la comunidad para ayudar a la NSF a tomar una decisión crítica: si TCP/IP debería ser obligatorio en el programa NSFNET. Cuando Steve Wolff llegó al programa NSFNET en 1986 reconoció la necesidad de una infraestructura de red amplia que pudiera ser de ayuda a la comunidad investigadora y a la académica en general, junto a la necesidad de desarrollar una estrategia para establecer esta infraestructura sobre bases independientes de la financiación pública directa. Se adoptaron varias políticas y estrategias para alcanzar estos fines.

La NSF optó también por mantener la infraestructura organizativa de Internet existente (DARPA) dispuesta jerárquicamente bajo el IAB (*Internet Activities Board*, Comité de Actividades de Internet). La declaración pública de esta decisión firmada por todos sus autores (por los grupos de Arquitectura e Ingeniería de la IAB, y por el NTAG de la NSF) apareció como la RFC 985 ("Requisitos para pasarelas de Internet") que formalmente aseguraba la interoperatividad entre las partes de Internet dependientes de DARPA y de NSF.

Junto a la selección de TCP/IP para el programa NSFNET, las agencias federales norteamericanas idearon y pusieron en práctica otras decisiones que llevaron a la Internet de hoy:

- Las agencias federales compartían el coste de la infraestructura común, como los circuitos transoceánicos. También mantenían

la gestión de puntos de interconexión para el tráfico entre agencias: los "Federal Internet Exchanges" (FIX-E y FIX-W) que se desarrollaron con este propósito sirvieron de modelo para los puntos de acceso a red y los sistemas *IX que son unas de las funcionalidades más destacadas de la arquitectura de la Internet actual.

- Para coordinar estas actividades se formó el FNC (*Federal Networking Council*, Consejo Federal de Redes) (9). El FNC cooperaba también con otras organizaciones internacionales, como RARE en Europa, a través del CCIRN (*Coordinating Committee on Intercontinental Research Networking*, Comité de Coordinación Intercontinental de Investigación sobre Redes) para coordinar el apoyo a Internet de la comunidad investigadora mundial.
- Esta cooperación entre agencias en temas relacionados con Internet tiene una larga historia. En 1981, un acuerdo sin precedentes entre Farber, actuando en nombre de CSNET y NSF, y Kahn por DARPA, permitió que el tráfico de CSNET compartiera la infraestructura de ARPANET de acuerdo según parámetros estadísticos.
- En consecuencia, y de forma similar, la NFS promocionó sus redes regionales de NSFNET, inicialmente académicas, para buscar clientes comerciales, expandiendo sus servicios y explotando las economías de escala resultantes para reducir los costes de suscripción para todos.
- En el *backbone* NSFNET (el segmento que cruza los EE.UU.) NSF estableció una política aceptable de uso (*AUP, Acceptable Use Policy*) que prohibía el uso del *backbone* para fines "que no fueran de apoyo a la Investigación y la Educación". El predecible e intencionado resultado de promocionar el tráfico comercial en la red a niveles locales y regionales era estimular la aparición y/o crecimiento de grandes redes privadas y competitivas como PSI, UUNET, ANS CO+RE, y, posteriormente, otras. Este proceso de aumento de la financiación privada para el uso comercial se resolvió tras largas discusiones que empezaron en 1988 con una serie de conferencias patrocinadas por NSF en la *Kennedy School of Government* de la Universidad de Harvard, bajo el lema "La comercialización y privatización de Internet", complementadas por la lista "*com-priv*" de la propia red.
- En 1988 un comité del *National Research Council* (Consejo Nacional de Investigación), presidido por Kleinrock y entre cuyos miembros estaban Clark y Kahn, elaboró un informe dirigido a la NSF y titulado "*Towards a National Research Network*". El informe llamó la atención del entonces senador Al Gore (**N. del T.:** Vicepresidente de los EE.UU. desde 1992) le introdujo en las redes de alta velocidad que pusieron los cimientos de la futura «Autopista de la Información».

- La política de privatización de la NSF culminó en Abril de 1995 con la eliminación de la financiación del backbone NSFNET. Los fondos así recuperados fueron redistribuidos competitivamente entre redes regionales para comprar conectividad de ámbito nacional a Internet a las ahora numerosas redes privadas de larga distancia.

El *backbone* había hecho la transición desde una red construida con *routers* de la comunidad investigadora (los *routers* Fuzzball de David Mills) a equipos comerciales. En su vida de ocho años y medio, el *backbone* había crecido desde seis nodos con enlaces de 56Kb a 21 nodos con enlaces múltiples de 45Mb. Había visto crecer Internet hasta alcanzar más de 50.000 redes en los cinco continentes y en el espacio exterior, con aproximadamente 29.000 redes en los Estados Unidos.

El efecto del ecumenismo del programa NSFNET y su financiación (200 millones de dólares entre 1986 y 1995) y de la calidad de los protocolos fue tal que en 1990, cuando la propia ARPANET se disolvió, TCP/IP había sustituido o marginado a la mayor parte de los restantes protocolos de grandes redes de ordenadores e IP estaba en camino de convertirse en el servicio portador de la llamada Infraestructura Global de Información.

Notas

(1) Quizás esto constituya una exageración basada en la residencia en Silicon Valley del autor principal del artículo.

(2) En una visita reciente a una librería de Tokio, uno de los autores contó hasta 14 revistas en inglés dedicadas a Internet.

(3) Una versión abreviada de este artículo aparece en la publicación del 50 aniversario de *Communications of the ACM (CACM)*, Febrero de 1997. Los autores quisieran expresar su agradecimiento a Andy Rosenbloom, editor senior de CACM, por inducirnos a escribir el presente artículo y por su inestimable asistencia para editar tanto éste como la citada versión abreviada.

(4) La *Advanced Research Projects Agency (ARPA, Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada)* cambió su nombre a *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA, Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada para la Defensa)* en 1971, más tarde retomó su antigua denominación ARPA en 1993, para volver a DARPA en 1996. Nosotros la llamaremos siempre con su nombre actual (DARPA).

(5) Fue a partir del estudio de RAND como se inició el rumor de que ARPANET era algo relacionado con la construcción de una red resistente a la guerra nuclear. En realidad, esto nunca fue cierto. Solamente el estudio de RAND sobre seguridad vocal tomaba en consideración la guerra nuclear. Sin embargo, el trabajo posterior en Internetting hizo énfasis en la robustez y capacidad de supervivencia,

incluyendo la capacidad de resistir la pérdida de grandes porciones de las redes en uso.

(6) Incluyendo entre otros a Vinton Cerf, Steve Crocker y Jon Postel. Más tarde se unieron a ellos David Crocker que jugó un importante papel en la documentación de los protocolos de correo electrónico y Robert Braden que desarrolló el primer NCP y después TCP para grandes ordenadores IBM y también jugó un papel a largo plazo en el ICCB y el IAB.

(7) Esta fue más tarde publicada como: V.G. Cerf y R.E. Kahn, "*A Protocol for Packet Network Interconnection*", IEEE Trans. Comm. Tech., vol. COM-22, V5, May 1974, pp. 627-641.

(8) El deseo de intercambiar correo electrónico llevó, sin embargo, a la aparición de uno de los primeros libros sobre Internet: *A Directory of Electronic Mail Addressing and Networks* de Frey y Adams, sobre traducción y envío de direcciones de correo.

(9) Denominado originalmente FRICC (*Federal Research Internet Coordinating Committee*, Comité de Coordinación Federal de Investigación sobre Internet).

Una breve historia de Internet

(Segunda Parte)

**Barry M. Leiner, Vinton G. Cerf, David D. Clark, Robert E. Kahn, Leonard Kleinrock,
Daniel C. Lynch, Jon Postel, Lawrence G. Roberts, Stephen Wolff**

Ilustraciones de Kevin Griffin

Traducción: Alonso Alvarez, Llorenç Pagés

El papel de la documentación

Un aspecto clave del rápido crecimiento de Internet ha sido el acceso libre y abierto a los documentos básicos, especialmente a las especificaciones de los protocolos.

Los comienzos de Arpanet y de Internet en la comunidad de investigación universitaria estimularon la tradición académica de la publicación abierta de ideas y resultados. Sin embargo, el ciclo normal de la publicación académica tradicional era demasiado formal y lento para el intercambio dinámico de ideas, esencial para crear redes.

En 1969 S.Crocker, entonces en UCLA, dio un paso clave al establecer la serie de notas RFC (*Request For Comments*, petición de comentarios). Estos memorándums pretendieron ser una vía informal y de distribución rápida para compartir ideas con otros investigadores en redes. Al principio, las RFC fueron impresas en papel y distribuidas vía correo "lento". Pero cuando el FTP (*File Transfer Protocol*, protocolo de transferencia de ficheros) empezó a usarse, las RFC se convirtieron en ficheros difundidos *online* a los que se accedía vía FTP. Hoy en día, desde luego, están disponibles en el World Wide Web en decenas de emplazamientos en todo el mundo. SRI, en su papel como Centro de Información en la Red, mantenía los directorios *online*. Jon Postel actuaba como editor de RFC y como gestor de la administración centralizada de la asignación de los números de protocolo requeridos, tareas en las que continúa hoy en día.

El efecto de las RFC era crear un bucle positivo de realimentación, con ideas o propuestas presentadas a base de que una RFC impulsara otra RFC con ideas adicionales y así sucesivamente. Una vez se hubiera obtenido un consenso se prepararía un documento de especificación. Tal especificación sería entonces usada como la base para las implementaciones por parte de los equipos de investigación. Con el paso del tiempo, las RFC se han enfocado a estándares de protocolo –las especificaciones oficiales– aunque hay todavía RFC informativas que describen enfoques alternativos o proporcionan información de soporte en temas de protocolos e ingeniería. Las RFC

son vistas ahora como los documentos de registro dentro de la comunidad de estándares y de ingeniería en Internet.

El acceso abierto a las RFC –libre si se dispone de cualquier clase de conexión a Internet- promueve el crecimiento de Internet porque permite que las especificaciones sean usadas a modo de ejemplo en las aulas universitarias o por emprendedores al desarrollar nuevos sistemas.

El *e-mail* o correo electrónico ha supuesto un factor determinante en todas las áreas de Internet, lo que es particularmente cierto en el desarrollo de las especificaciones de protocolos, estándares técnicos e ingeniería en Internet. Las primitivas RFC a menudo presentaban al resto de la comunidad un conjunto de ideas desarrolladas por investigadores de un solo lugar. Después de empezar a usarse el correo electrónico, el modelo de autoría cambió: las RFC pasaron a ser presentadas por coautores con visiones en común, independientemente de su localización.

Las listas de correo especializadas ha sido usadas ampliamente en el desarrollo de la especificación de protocolos, y continúan siendo una herramienta importante. El IETF tiene ahora más de 75 grupos de trabajo, cada uno dedicado a un aspecto distinto de la ingeniería en Internet. Cada uno de estos grupos de trabajo dispone de una lista de correo para discutir uno o más borradores bajo desarrollo. Cuando se alcanza el consenso en el documento, éste puede ser distribuido como una RFC.

Debido a que la rápida expansión actual de Internet se alimenta por el aprovechamiento de su capacidad de promover la compartición de información, deberíamos entender que el primer papel en esta tarea consistió en compartir la información acerca de su propio diseño y operación a través de los documentos RFC. Este método único de producir nuevas capacidades en la red continuará siendo crítico para la futura evolución de Internet.

Formación de la Comunidad Amplia

Internet es tanto un conjunto de comunidades como un conjunto de tecnologías y su éxito se puede atribuir tanto a la satisfacción de las necesidades básicas de la comunidad como a la utilización de esta comunidad de un modo efectivo para impulsar la infraestructura. El espíritu comunitario tiene una larga historia, empezando por la temprana ARPANET. Los investigadores de ésta red trabajaban como una comunidad cerrada para llevar a cabo las demostraciones iniciales de la tecnología de conmutación de paquetes descrita en la primera parte de este artículo.

Del mismo modo, la Paquetería por Satélite, la Paquetería por Radio y varios otros programas de investigación informática de la DARPA fueron actividades cooperativas y de contrato múltiple que, aún con dificultades, usaban cualquiera de los mecanismos disponibles para

coordinar sus esfuerzos, empezando por el correo electrónico y siguiendo por la compartición de ficheros, acceso remoto y finalmente las prestaciones de la World Wide Web.

Cada uno de estos programas formaban un grupo de trabajo, empezando por el *ARPANET Network Working Group* (Grupo de Trabajo de la Red ARPANET). Dado que el único papel que ARPANET representaba era actuar como soporte de la infraestructura de los diversos programas de investigación, cuando Internet empezó a evolucionar, el Grupo de Trabajo de la Red se transformó en Grupo de Trabajo de Internet.

A finales de los 70, como reconocimiento de que el crecimiento de Internet estaba siendo acompañado por un incremento en el tamaño de la comunidad investigadora interesada y, por tanto, generando una necesidad creciente de mecanismos de coordinación, Vinton Cerf, por entonces director del programa de Internet en DARPA, formó varios grupos de coordinación: el ICB (*International Cooperation Board*, Consejo de Cooperación Internacional) presidido por Peter Kirstein, para coordinar las actividades con los países cooperantes europeos y dedicado a la investigación en Paquetería por Satélite; el *Internet Research Group* (Grupo de Investigación en Internet), que fue un grupo inclusivo para proporcionar un entorno para el intercambio general de información; y el ICCB (*Internet Configuration Control Board*, Consejo de Control de la Configuración de Internet), presidido por Clark. El ICCB fue un grupo al que se pertenecía por invitación para asistir a Cerf en la dirección de la actividad incipiente de Internet.

En 1983, cuando Barry Leiner asumió la dirección del programa de investigación en DARPA, él y Clark observaron que el continuo crecimiento de la comunidad de Internet demandaba la reestructuración de los mecanismos de coordinación. El ICCB fue disuelto y sustituido por una estructura de equipos de trabajo, cada uno de ellos enfocado a un área específica de la tecnología, tal como los *routers* (encaminadores) o los protocolos extremo a extremo. Se creó el IAB (*Internet Architecture Board*, Consejo de la Arquitectura de Internet) incluyendo a los presidentes de los equipos de trabajo. Era, desde luego, solamente una coincidencia que los presidentes de los equipos de trabajo fueran las mismas personas que constituían el antiguo ICCB, y Clark continuó actuando como presidente.

Después de algunos cambios en la composición del IAB, Phill Gross fue nombrado presidente del revitalizado IETF (*Internet Engineering Task Force*, Equipo de Trabajo de Ingeniería de Internet), que en aquel momento era meramente un equipo de trabajo del IAB. Como mencionamos con anterioridad, en 1985 se produjo un tremendo crecimiento en el aspecto más práctico de la ingeniería de Internet. Tal crecimiento desembocó en una explosión en la asistencia a las reuniones del IETF y Gross se vio obligado a crear una subestructura en el IETF en forma de grupos de trabajo.

El crecimiento de Internet fue complementado por una gran expansión de la comunidad de usuarios. DARPA dejó de ser el único protagonista en la financiación de Internet. Además de NSFNET y de varias actividades financiadas por los gobiernos de Estados Unidos y otros países, el interés de parte del mundo empresarial había empezado a crecer. También en 1985, Kahn y Leiner abandonaron DARPA, y ello supuso un descenso significativo de la actividad de Internet allí. Como consecuencia, el IAB perdió a su principal espónsor y poco a poco fue asumiendo el liderazgo.

El crecimiento continuó y desembocó en una subestructura adicional tanto en el IAB como en el IETF. El IETF integró grupos de trabajo en áreas y designó directores de área. El IESG (*Internet Engineering Steering Group*, Grupo de Dirección de Ingeniería de Internet) se formó con estos directores de área. El IAB reconoció la importancia creciente del IETF y reestructuró el proceso de estándares para reconocer explícitamente al IESG como la principal entidad de revisión de estándares. El IAB también se reestructuró de manera que el resto de equipos de trabajo (aparte del IETF) se agruparon en el IRTF (*Internet Research Task Force*, Equipo de Trabajo de Investigación en Internet), presidido por Postel, mientras que los antiguos equipos de trabajo pasaron a llamarse "grupos de investigación".

El crecimiento en el mundo empresarial trajo como consecuencia un incremento de la preocupación por el propio proceso de estándares. Desde primeros de los años 80 hasta hoy, Internet creció y está creciendo más allá de sus raíces originales de investigación para incluir a una amplia comunidad de usuarios y una actividad comercial creciente. Se puso un mayor énfasis en hacer el proceso abierto y justo. Esto, junto a una necesidad reconocida de dar soporte a la comunidad de Internet, condujo a la formación de la *Internet Society* en 1991, bajo los auspicios de la CNRI (*Corporation for National Research Initiatives*, Corporación para las Iniciativas de Investigación Nacionales) de Kahn y el liderazgo de Cerf, junto al de la CNRI.

En 1992 todavía se realizó otra reorganización: El *Internet Activities Board* (Consejo de Actividades de Internet) fue reorganizado y sustituyó al Consejo de la Arquitectura de Internet, operando bajo los auspicios de la Internet Society. Se definió una relación más estrecha entre el nuevo IAB y el IESG, tomando el IETF y el propio IESG una responsabilidad mayor en la aprobación de estándares. Por último, se estableció una relación cooperativa y de soporte mutuo entre el IAB, el IETF y la Internet Society, tomando esta última como objetivo la provisión de servicio y otras medidas que facilitarían el trabajo del IETF.

El reciente desarrollo y amplia difusión del World Wide Web ha formado una nueva comunidad, pues muchos de los que trabajan en la WWW no se consideran a sí mismos como investigadores y desarrolladores primarios de la red. Se constituyó un nuevo organismo de coordinación, el W3C (*World Wide Web Consortium*).

Liderado inicialmente desde el *Laboratory for Computer Science* del MIT por Tim Berners-Lee –el inventor del WWW- y Al Vezza, el W3C ha tomado bajo su responsabilidad la evolución de varios protocolos y estándares asociados con el web.

Así pues, a través de más de dos décadas de actividad en Internet, hemos asistido a la continua evolución de las estructuras organizativas designadas para dar soporte y facilitar a una comunidad en crecimiento el trabajo colaborativo en temas de Internet.

Comercialización de la tecnología

La comercialización de Internet llevaba acarreada no sólo el desarrollo de servicios de red privados y competitivos sino también el de productos comerciales que implementen la tecnología Internet. A principios de los años 80 docenas de fabricantes incorporaron TCP/IP a sus productos debido a la aproximación de sus clientes a esta tecnología de redes. Desafortunadamente, carecían de información fiable sobre cómo funcionaba esta tecnología y cómo pensaban utilizarla sus clientes. Muchos lo enfocaron como la incorporación de funcionalidades que se añadían a sus propios sistemas de red: SNA, DECNet, Netware, NetBios. El Departamento de Defensa norteamericano hizo obligatorio el uso de TCP/IP en buena parte de sus adquisiciones de software pero dio pocas indicaciones a los suministradores sobre cómo desarrollar productos TCP/IP realmente útiles.

En 1985, reconociendo la falta de información y formación adecuadas, Dan Lynch, en cooperación con el IAB, organizó una reunión de tres días para **todos** los fabricantes que quisieran saber cómo trabajaba TCP/IP y qué es lo que aún no era capaz de hacer. Los ponentes pertenecían fundamentalmente a la comunidad investigadora de DARPA que había desarrollado los protocolos y los utilizaba en su trabajo diario. Alrededor de 250 fabricantes acudieron a escuchar a unos 50 inventores y experimentadores. Los resultados fueron una sorpresa para ambas partes: los fabricantes descubrieron con asombro que los inventores estaban abiertos a sugerencias sobre cómo funcionaban los sistemas (y sobre qué era lo que aún no eran capaces de hacer) y los inventores recibieron con agrado información sobre nuevos problemas que no conocían pero que habían encontrado los fabricantes en el desarrollo y operación de nuevos productos. Así, quedó establecida un diálogo que ha durado más de una década. Después de dos años de conferencias, cursos, reuniones de diseño y congresos, se organizó un acontecimiento especial para que los fabricantes cuyos productos funcionaran correctamente bajo TCP/IP pudieran mostrarlos conjuntamente durante tres días y demostraran lo bien que podían trabajar y correr en Internet. El primer "*Interop trade show*" nació en Septiembre de 1988. Cincuenta compañías presentaron sus productos y unos 5.000 ingenieros de organizaciones

potencialmente compradoras acudieron a ver si todo funcionaba como se prometía. Y lo hizo. ¿Por qué? Porque los fabricantes habían trabajado intensamente para asegurar que sus productos interoperaban correctamente entre sí -incluso con los de sus competidores. El Interop ha crecido enormemente desde entonces y hoy en día se realiza cada año en siete lugares del mundo con una audiencia de 250.000 personas que acuden para comprobar qué productos interoperan correctamente con los demás, conocer cuáles son los últimos y para hablar sobre la tecnología más reciente. En paralelo con los esfuerzos de comercialización amparados por las actividades del Interop, los fabricantes comenzaron a acudir a las reuniones de la IETF que se convocaban tres o cuatro veces al año para discutir nuevas ideas para extender el conjunto de protocolos relacionados con TCP/IP. Comenzaron con unos cientos de asistentes procedentes en su mayor parte del mundo académico y financiados por el sector público; actualmente estas reuniones atraen a varios miles de participantes, en su mayor parte del sector privado y financiados por éste. Los miembros de este grupo han hecho evolucionar el TCP/IP cooperando entre sí. La razón de que estas reuniones sean tan útiles es que acuden a ellas todas las partes implicadas: investigadores, usuarios finales y fabricantes.

La gestión de redes nos da un ejemplo de la beneficiosa relación entre la comunidad investigadora y los fabricantes. En los comienzos de Internet, se hacía hincapié en la definición e implementación de protocolos que alcanzaran la interoperación. A medida que crecía la red aparecieron situaciones en las que procedimientos desarrollados "ad hoc" para gestionar la red no eran capaces de crecer con ella. La configuración manual de tablas fue sustituida por algoritmos distribuidos automatizados y aparecieron nuevas herramientas para resolver problemas puntuales. En 1987 quedó claro que era necesario un protocolo que permitiera que se pudieran gestionar remota y uniformemente los elementos de una red, como los *routers*. Se propusieron varios protocolos con este propósito, entre ellos el SNMP (*Single Network Management Protocol*, protocolo simple de gestión de red) diseñado, como su propio nombre indica, buscando la simplicidad; HEMS, un diseño más complejo de la comunidad investigadora; y CMIP, desarrollado por la comunidad OSI. Una serie de reuniones llevaron a tomar la decisión de desestimar HEMS como candidato para la estandarización, dejando que tanto SNMP como CMIP siguieran adelante con la idea que el primero fuera una solución inmediata mientras que CMIP pasara a ser una aproximación a largo plazo: el mercado podría elegir el que resultara más apropiado. Hoy SNMP se usa casi universalmente para la gestión de red.

En los últimos años hemos vivido una nueva fase en la comercialización. Originalmente, los esfuerzos invertidos en esta tarea consistían fundamentalmente en fabricantes que ofrecían productos básicos para trabajar en la red y proveedores de servicio que ofrecían conectividad y servicios básicos. Internet se ha acabado

convirtiéndose en una "**commodity**", un servicio de disponibilidad generalizada para usuarios finales, y buena parte de la atención se ha centrado en el uso de la GII (*Global Information Infrastructure*) para el soporte de servicios comerciales. Este hecho se ha acelerado tremendamente por la rápida y amplia adopción de visualizadores y de la tecnología del World Wide Web, permitiendo a los usuarios acceder fácilmente a información distribuida a través del mundo. Están disponibles productos que facilitan el acceso a esta información y buena parte de los últimos desarrollos tecnológicos están dirigidos a obtener servicios de información cada vez más sofisticados sobre comunicaciones de datos básicas de Internet.

Historia del futuro

El 24 de Octubre de 1995, el FNC (*Federal Networking Council*, Consejo Federal de la Red) aceptó unánimemente una resolución definiendo el término *Internet*. La definición se elaboró de acuerdo con personas de las áreas de Internet y los derechos de propiedad intelectual. La resolución: "el FNC acuerda que lo siguiente refleja nuestra definición del término *Internet*. *Internet* hace referencia a un sistema global de información que (1) está relacionado lógicamente por un único espacio de direcciones global basado en el protocolo de Internet (IP) o en sus extensiones, (2) es capaz de soportar comunicaciones usando el conjunto de protocolos TCP/IP o sus extensiones u otros protocolos compatibles con IP, y (3) emplea, provee, o hace accesible, privada o públicamente, servicios de alto nivel en capas de comunicaciones y otras infraestructuras relacionadas aquí descritas".

Internet ha cambiado en sus dos décadas de existencia. Fue concebida en la era del tiempo compartido y ha sobrevivido en la era de los ordenadores personales, cliente-servidor, y los *network computers*. Se ideó antes de que existieran las LAN, pero ha acomodado tanto a esa tecnología como a ATM y la conmutación de tramas. Ha dado soporte a un buen número de funciones desde compartir ficheros, y el acceso remoto, hasta compartir recursos y colaboración, pasando por el correo electrónico y, recientemente, el World Wide Web. Pero, lo que es más importante, comenzó como una creación de un pequeño grupo de investigadores y ha crecido hasta convertirse en un éxito comercial con miles de millones de dólares anuales en inversiones.

No se puede concluir diciendo que Internet ha acabado su proceso de cambio. Aunque es una red por su propia denominación y por su dispersión geográfica, su origen está en los ordenadores, no en la industria de la telefonía o la televisión. Puede -o mejor, debe- continuar cambiando y evolucionando a la velocidad de la industria del ordenador si quiere mantenerse como un elemento relevante. Ahora está cambiando para proveer nuevos servicios como el

transporte en tiempo real con vistas a soportar, por ejemplo, audio y vídeo. La disponibilidad de redes penetrantes y omnipresentes, como Internet, junto con la disponibilidad de potencia de cálculo y comunicaciones asequibles en máquinas como los ordenadores portátiles, los PDA y los teléfonos celulares, está posibilitando un nuevo paradigma de informática y comunicaciones "nómadas". Esta evolución nos traerá una nueva aplicación: telefonía Internet y, puede que poco después, televisión por Internet. Está permitiendo formas más sofisticadas de valoración y recuperación de costes, un requisito fundamental en la aplicación comercial. Está cambiando para acomodar una nueva generación de tecnologías de red con distintas características y requisitos: desde ancho de banda doméstico a satélites. Y nuevos modos de acceso y nuevas formas de servicio que darán lugar a nuevas aplicaciones, que, a su vez, harán evolucionar a la propia red.

La cuestión más importante sobre el futuro de Internet no es cómo cambiará la tecnología, sino cómo se gestionará esa evolución. En este capítulo se ha contado cómo un grupo de diseñadores dirigió la arquitectura de Internet y cómo la naturaleza de ese grupo varió a medida que creció el número de partes interesadas. Con el éxito de Internet ha llegado una proliferación de inversores que tienen intereses tanto económicos como intelectuales en la red. Se puede ver en los debates sobre el control del espacio de nombres y en la nueva generación de direcciones IP una pugna por encontrar la nueva estructura social que guiará a Internet en el futuro. Será difícil encontrar la forma de esta estructura dado el gran número de intereses que concurren en la red. Al mismo tiempo, la industria busca la forma de movilizar y aplicar las enormes inversiones necesarias para el crecimiento futuro, por ejemplo para mejorar el acceso del sector residencial. Si Internet sufre un traspiés no será debido a la falta de tecnología, visión o motivación. Será debido a que no podemos hallar la dirección justa por la que marchar unidos hacia el futuro.

Bibliografía

Baran, P. On Distributed Communications Networks, *IEEE Trans. Comm. Sys.*, Marzo 1964.

Cerf, V. G. y R. E. Kahn. A Protocol for Packet Network Interconnection, *IEEE Trans. Comm. Tech.*, vol COM-22, V 5, Mayo 1974, pág. 627-641.

Crocker S. *RFC001 Host software.* 7 de Abril de 1969.

Kahn, R. *Communications Principles for Operating Systems,* Memorandum interno BBN. Enero 1972.

Kleinrock, L. Information Flow in Large Communication Nets, *RLE Quarterly Progress Report,* Julio 1961.

Licklider, J. C. R. y W. Clark. On-Line Man-Computer

Communication, Agosto 1962. *Proceeding of the IEEE*, Special Issue on Packet Communications Networks, vol. 66, n^a 11, Noviembre 1978.

Roberts, L. *Multiple Computer Networks and Intercomputer Communications*, Conferencia de la ACM en Gatlinburg, Octubre de 1967.

Roberts, L. y Merrill, T. *Toward a Cooperative Network of Time-Shared Computers*. Conferencia de otoño de AFIIPS, Octubre 1966.