

internet: su evolución y sus desafíos

JANET ABBATE

Internet, una red global de redes, es un sistema notablemente complejo desde el punto de vista técnico, construido a partir de las contribuciones creativas de científicos de todo el mundo a partir de la década de 1950 y hasta el presente. A lo largo de su evolución, Internet y otras redes han sido impulsadas por gobiernos, investigadores, educadores e individuos en general como herramientas para satisfacer un gran número de necesidades de la población. La combinación de políticas estatales e improvisaciones de base (a escala local) ha dado lugar a beneficios sociales que incluyen el acceso generalizado a ordenadores y a información, una colaboración más estrecha entre científicos, crecimiento económico, formación de *comunidades virtuales* y una mayor capacidad para mantener lazos sociales a larga distancia; también a la democratización de los contenidos creativos y al activismo político y social en línea. El rápido crecimiento de Internet también ha generado crisis técnicas, tales como la congestión y la escasez de dominios, así como dilemas sociales, incluidas actividades ilegales o malintencionadas, y continuas *discriminaciones digitales* basadas en diferencias de ingresos, procedencia, edad, sexo y educación. Estos problemas siguen requiriendo soluciones creativas por parte de científicos, legisladores y ciudadanos.

Del desarrollo técnico de Internet hay varios aspectos a destacar. En primer lugar, desde 1950 hasta el presente se ha producido un aumento continuado en el volumen de las redes de datos y en la variedad de servicios que éstas

ofrecen. El rápido crecimiento y la diversidad han obligado a los diseñadores de redes a superar incompatibilidades entre sistemas y componentes informáticos, a gestionar el tráfico de datos para prevenir la congestión y el caos y a llegar a acuerdos internacionales sobre estándares técnicos. Estos desafíos han cristalizado en logros fundamentales en áreas de investigación tales como sistemas operativos y la teoría de colas (modelo matemático para el estudio de fenómenos de espera). Una segunda tendencia ha sido el diseño de funciones de las redes en forma de *capas de enlace*, cada una de las cuales se comporta según un *protocolo estándar* (una serie de normas para interacción implementada en *software* o en *hardware*). Este diseño por capas reduce la complejidad del sistema de redes y minimiza el grado de estandarización necesario para su funcionamiento, lo que facilita que las redes puedan unirse a Internet. Un tercer e importante rasgo del desarrollo técnico de Internet ha sido un proceso de diseño inusualmente descentralizado y participativo. Ello ha abierto el sistema a innovaciones procedentes de una variedad de fuentes y ha fomentado la colaboración informal desde todas las zonas de planeta. En los siguientes apartados se describen algunos de los hitos principales en la evolución de Internet y sus predecesoras.

Los inicios: primeros terminales en redes

Las primeras computadoras electrónicas digitales, inventadas durante la Segunda Guerra Mundial y comerciali-

zadas inmediatamente después, eran máquinas solitarias; no estaban diseñadas para interactuar con sus usuarios ni con otras computadoras. Al cabo de unos pocos años, sin embargo, los ingenieros informáticos comenzaron a experimentar con maneras de acceder a distancia a los ordenadores o de transmitir datos de una máquina a otra. Las redes de datos de la década de 1950 y principios de la de 1960 eran sistemas concebidos para conectar terminales a ordenadores, antes que ordenadores entre sí. Los experimentos realizados con terminales en red resultaron ser un área de investigación llena de desafíos para los científicos, pero también una respuesta a la realidad política y económica del momento, marcada por la Guerra Fría y por el crecimiento global de la economía, los transportes y las comunicaciones.

La ciencia informática en Estados Unidos fue en gran parte una creación del ejército y reflejaba la rivalidad del país con la URSS. Así por ejemplo, un importante avance estadounidense en la década de 1950 fue el proyecto SAGE (un sistema informatizado de alerta temprana de detección de misiles enemigos). Cada centro SAGE tenía un ordenador IBM que recibía datos por medio de líneas telefónicas conectadas a instalaciones de radar y bases militares. Una de las tecnologías clave desarrolladas por los laboratorios Bell AT&T para SAGE fue el *módem*, que sirve para convertir datos informáticos digitales en señales analógicas que pueden enviarse por la red telefónica. AT&T empezó a comercializar los módems en 1958 y durante varias décadas éstos fueron el principal acceso en red para el usuario común.

La demanda de terminales en red se vio impulsada por otro hito tecnológico de principios de la década de 1960: los sistemas operativos *de tiempo compartido*. Inventados de forma independiente en 1959 por Christopher Strachey en Gran Bretaña y por John McCarthy en Estados Unidos, los sistemas operativos de tiempo compartido permitían que múltiples usuarios operaran con programas distintos en un solo ordenador y de forma simultánea. Debido a que el coste del ordenador podía repartirse entre varios usuarios, el sistema de tiempo compartido permitía a individuos usar un ordenador de forma interactiva durante largos periodos de tiempo, en lugar de estar limitados a operar con un solo programa, y también a recibir los resultados de forma inmediata. Los servicios comerciales de tiempo compartido se aprovecharon de este ahorro para proporcionar acceso informático a precios asequibles a gran cantidad de clientes del mundo académico y de los negocios. A mediados de la década de 1960 los servicios comerciales de tiempo compartido ya estaban desarrollando sus propias redes de datos con objeto de ofrecer a sus clientes acceso a bajo coste a sus ordenadores.

El capitalismo global y el crecimiento de los sistemas de transporte y comunicaciones dieron impulso a la creación de terminales de redes comerciales y de gran escala. A principios de la década de 1960 las industrias que

manejan gran cantidad de datos, tales como la aviación o las compañías financieras, empezaron a desarrollar redes conjuntas que permitieran a distintas empresas compartir información. Por ejemplo, a principios de los sesenta American Airlines e IBM crearon SABRE, un sistema de reservas en línea (basado en el proyecto de IBM para SAGE), el cual conectaba 2.000 terminales de Estados Unidos a un ordenador central. De manera similar, el NASDAQ o Asociación Nacional de Cotización Automatizada de Operadores de Valores de Estados Unidos, creó una red para cotizaciones de acciones en 1970. En un ejemplo temprano de la colaboración internacional en redes informáticas, una cooperativa de líneas aéreas llamada SITA (Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques) construyó una red en 1969 empleando la técnica de conmutación de paquetes o *packet switching* (véase más adelante). La red de SITA gestionaba el tráfico aéreo de 175 compañías a través de centros informáticos situados en Ámsterdam, Bruselas, Fráncfort, Hong Kong, Londres, Madrid, Nueva York, París y Roma (SITA 2006). Dichas redes comerciales y financieras contribuyeron a acelerar la globalización de la economía.

Redes de investigación

Las redes de terminales se basaban en un modelo radial (*hub-and-spoke*) relativamente simple que conectaba a numerosos usuarios a un solo ordenador central. Entre finales de la década de 1960 y finales de la de 1970 ingenieros informáticos desarrollaron nuevas redes más complejas que conectaban múltiples ordenadores entre sí. Al experimentar con nuevas tecnologías, los investigadores buscaban romper las barreras que entrañaba compartir datos entre ordenadores con sistemas operativos distintos. Los científicos y sus patrocinadores —los gobiernos— vieron una triple promesa en la creación de redes informáticas: la capacidad de compartir ordenadores escasos y costosos, lo que aumentaría el acceso al tiempo que reducía los gastos; la posibilidad de compartir datos y trabajar en colaboración con colegas de otros lugares y la oportunidad de progresar en la teoría y la práctica del uso de los aparatos.

Tres de las primeras redes de investigación más importantes fueron ARPANET (Estados Unidos, 1969), la NPL Mark I (Gran Bretaña, 1969) y CYCLADES (Francia, 1972). Una de las innovaciones clave de estas redes experimentales fue una técnica de comunicación llamada *packet switching* o conmutación de o por paquetes. Hasta entonces los sistemas de comunicación existentes, como el teléfono o las terminales de redes, tenían circuitos establecidos entre las dos terminales de la conexión. Por el contrario, una red de conmutación por paquetes divide los datos de manera que puedan ser transmitidos en pequeñas unidades llamadas «paquetes» que son enviadas de forma individual, compartiendo los circuitos en red con otras conexiones. La conmutación por paquetes permite utili-

zar los nexos de comunicación de manera más eficaz, con el consiguiente ahorro económico. Además, los paquetes de una misma conexión pueden enviarse a su destino por rutas diferentes, haciendo posible distribuir el tráfico en múltiples vías o reaccionar a una interrupción en el funcionamiento de parte de una red redirigiendo el tráfico a otra. El concepto de conmutación por paquetes fue inventado de forma independiente a principios de la década de 1960 por Paul Baran en Estados Unidos y Donald Davies en Gran Bretaña. Davies puso la técnica en práctica en la red de un nodo Mark I en el National Physical Laboratory. En Estados Unidos, la agencia DARPA (siglas de Defense Advanced Research Projects Agency, Agencia para proyectos de investigación de defensa avanzados) patrocinó la primera gran red de conmutación por paquetes: ARPANET. Uno de los teóricos que participó en este proyecto fue Leonard Kleinrock, responsable del desarrollo de algunos de los primeros métodos de análisis del comportamiento de las redes de conmutación por paquetes. En Francia, Louis Pouzin fue pionero de la red sin conexiones o en la red de conmutación de paquetes con *datagramas* CYCLADES. Las redes de datagramas eran más sencillas que las que funcionaban por conexiones, como ARPANET, y esta sencillez hacía más factible interconectar redes diferentes, lo que supuso un importante paso en el desarrollo de una Internet global. Tal y como lo explica Pouzin: «Cuanto más sofisticada es una red, menos probable es que sea compatible con otra» (Pouzin 1975). Experimentos realizados con *internetworking* (conexión de múltiples redes) ya se estaban llevando a cabo a principios de la década de 1970. Por ejemplo, la red NPL se conectó a CYCLADES en 1974, y en 1976 ambas se conectaron a la nueva Red Informática Europea o EIN, desarrollada a partir de un grupo de estudio de ciencia y tecnología de la entonces Comunidad Económica Europea, el cual recomendaba la creación de una red multinacional que ayudara a los países miembros a compartir recursos informáticos y promover la investigación en la ciencia informática. En 1976 EIN proporcionaba servicios de red a diez países, con nodos en Italia, Francia, Suiza y Gran Bretaña (Laws y Hathaway 1978). La convergencia de los sistemas de redes reflejaba así la convergencia entre Estados cooperantes.

Además de la conmutación por paquetes, ARPANET puso en marcha una serie de técnicas experimentales. Dicha red conectaba a investigadores de Estados Unidos que trabajaban en campos tales como tiempo compartido, inteligencia artificial y gráficos. Gracias a lo generoso de las ayudas estatales y a la abundancia de talentos implicados en el proyecto, los diseñadores de ARPANET pudieron experimentar con técnicas prometedoras aunque extraordinariamente complejas. Por ejemplo, en lugar de limitar la red a una sola clase de ordenador, ARPANET incluía variedad de computadoras muy diversas entre sí. Esto impulsó a un equipo de especialistas en informática, estudiantes de posgrado e ingenieros industriales a

buscar nuevas maneras de resolver las incompatibilidades entre ordenadores, y su esfuerzo facilitó en gran medida la creación de la nueva generación de redes informáticas. ARPANET también estaba dotada de una topología *distribuida*, es decir, que constaba de numerosos nodos con múltiples interconexiones, en lugar de un único nodo central. Las comunicaciones distribuidas, descritas por primera vez por Baran en 1964, permitían expandir la carga de información e incrementar potencialmente la fiabilidad, creando múltiples caminos entre dos ordenadores cualesquiera. Sin embargo, la adopción de esta técnica experimental incrementó en gran medida la complejidad del sistema de enrutamiento y forzó a los creadores de ARPANET a analizar y gestionar tipos de comportamiento en red hasta entonces desconocidos. En lo que resultó ser otro paso arriesgado, el diseño en red requería que las operaciones de enrutamiento se descentralizaran y volvieran *adaptativas*: es decir, cada nodo tomaría sus decisiones de enrutamiento de forma independiente y modificaría su comportamiento dependiendo de las condiciones de tráfico de información o de la configuración de la red (por ejemplo, si un nodo adyacente se volvía inoperativo). El diseño descentralizado de ARPANET y su enrutamiento autónomo hacían más difícil analizar el comportamiento en red; al mismo tiempo, estas técnicas contribuirían al futuro éxito de Internet porque permitían que la red creciera sin las limitaciones inherentes a un cuello de botella central. Una de las características más novedosas del proyecto ARPANET no era de tipo técnico, sino organizacional: un proceso de toma de decisiones descentralizado e informal. El desarrollo del *software* para esta red se debió a un equipo de investigadores y estudiantes llamado Network Working Group (Grupo de trabajo para la red). Cualquier miembro del grupo era libre de sugerir una nueva técnica haciendo circular un *boletín de sugerencias*; después de un periodo de debate y experimentación, la sugerencia era modificada, abandonada o adoptada por consenso como un nuevo estándar para la red. Este modelo colaborativo sigue empleándose en Internet (Bradner 1996) y ha ayudado al sistema a crecer y adaptarse, al fomentar el debate de ideas y la participación libre en su desarrollo técnico.

La aplicación de más éxito de las primeras redes experimentales fue con mucho el correo electrónico, cuyo uso se implementó a principios de la década de 1970. La popularidad del mismo fue una sorpresa para los creadores de ARPANET, que habían esperado que las redes dedicadas a la investigación se centraran en aplicaciones más sofisticadas y dedicadas a la computación pura y dura, tales como las matemáticas o el diseño de gráficos. Aunque el *e-mail* se adoptó en parte por su facilidad de uso, su popularidad también ponía de manifiesto la admisión de que la investigación científica dependía de la colaboración humana tanto como del acceso a las máquinas. El correo electrónico resultó ser una oportunidad sin prece-

dentes para la interacción continuada entre colegas geográficamente distantes entre sí.

Aunque no eran accesibles al público en general, las primeras redes de investigación fueron más allá de proporcionar acceso informático a un reducido número de científicos. También aportaron soluciones a los formidables obstáculos técnicos y establecieron herramientas cruciales para innovaciones futuras, incluidas técnicas estandarizadas y una comunidad de investigadores e ingenieros con experiencia en el trabajo en red (Quarterman 1990). Asimismo, los esfuerzos tempranos por construir redes multinacionales y redes de redes sentaron los cimientos para la cooperación global, sin la cual no existiría Internet tal y como lo conocemos hoy.

Expansión creciente:

redes patentadas, públicas y de base

Mediada la década de 1970, la aparición de redes de investigación coincidió con otras tres tendencias: los sistemas de redes patentados que ofrecían los fabricantes de ordenadores; las redes de datos públicos desarrolladas por las empresas de telecomunicaciones o PTT y las redes de base, desarrolladas por individuos y a bajo coste. Compañías como IBM habían proporcionado infraestructuras limitadas de redes informáticas desde la década de 1960, pero una vez que la investigación demostró la viabilidad de la conmutación por paquetes, las empresas informáticas empezaron a ofrecer sus propias tecnologías de *packet switching*. Los sistemas más utilizados incluían el Systems Network Architecture de IBM (SNA), Arquitectura de Red de Sistemas, (lanzado en 1974), el Xerox Network Services (1975) y el Digital Equipment Corporation o DECNET (1975). A diferencia de las redes de investigación, estos sistemas patentados tenían múltiples aplicaciones corporativas. Permitían la diversificación geográfica de las áreas de negocio —ya que las operaciones realizadas en las sucursales tenían acceso a los datos necesarios para operar de forma independiente— y una mayor centralización, porque los datos procedentes de operaciones lejanas podían ser supervisados desde las oficinas centrales. De este modo el uso de redes informáticas reflejaba e intensificaba la tendencia hacia una economía globalizadora que se aceleró a partir de 1980.

Aunque los sistemas patentados proporcionaban un servicio fundamental a organizaciones que trabajaban con muchos ordenadores de un solo fabricante, por lo general no eran compatibles con los de otros fabricantes. Ello podía suponer un problema dentro de una única organización y ciertamente un obstáculo para la creación de una red nacional o internacional. Además, estos sistemas patentados estaban controlados por corporaciones privadas y no se adherían a los estándares técnicos públicamente establecidos. Esto era una importante fuente de preocupación fuera de Estados Unidos, donde se concentraban los grandes fabricantes de ordenadores. Para pro-

porcionar una alternativa, en 1974-1975 los operadores de comunicaciones nacionales de Europa, Canadá y Japón anunciaron planes para construir redes de datos que estuvieran al alcance de cualquier usuario independientemente de la marca de su ordenador.

Las PTT, inspiradas en el modelo del teléfono, ofrecían no sólo acceso universal sino también conexiones internacionales. Al darse cuenta de que ello requeriría llegar a un acuerdo en cuanto al protocolo de red a utilizar, en 1975-1976 el Comité Consultor sobre Telegrafía y Telefonía Internacional del Sindicato Internacional de Telecomunicaciones desarrolló un protocolo estándar de conmutación de paquetes llamado X.25, que proporcionaba una conexión fiable, conocida como *circuito virtual*, entre dos puntos de una red, permitiendo a los usuarios de las distintas terminales acceder a recursos en línea sin necesidad de instalar un complejo *software* específico. Entre los primeros en adoptar este nuevo protocolo figuran la red Datapac de Canadá (1977), Transpac en Francia (1978), DDX de Japón (1979), el PSS de la compañía de correos estatal británica (1980) y la multinacional Euronet (1979). Aunque el X.25 fue más tarde reemplazado por otras tecnologías tales como la transmisión de tramas o *frame relay*, proporcionó la base para el rápido desarrollo de redes públicas en todo el mundo y solucionó el caos que suponía el empleo de estándares incompatibles entre sí. Otro influyente esfuerzo de estandarización ocurrido a finales de la década de 1970 fue el modelo de Interconexión de sistemas abiertos (Open Systems Interconnection) creado por la OSI (Organización Internacional de Estándares). Dicho modelo definía las funciones de siete modelos de proceso, desde conexiones básicas entre *hardware* a aplicaciones de alto nivel e interfaces de usuario. Aunque estos estándares fueron muy debatidos (Abbate 1999), la adopción de un modelo común ayudó a ingenieros informáticos y a fabricantes a dar un paso más en la dirección del desarrollo de sistemas de red totalmente compatibles.

Las redes públicas de datos supusieron el primer acceso *online* para gran parte de la población mundial. También patrocinaron nuevos tipos de contenido y servicios que hacían las redes útiles para los usuarios en general, no sólo técnicos. Por ejemplo, a principios de la década de 1980 France Telecom difundió ampliamente el uso de su red Transpac al ofrecer el innovador servicio Minitel: una terminal gratuita que se daba a los usuarios en lugar de un directorio de teléfonos con acceso también gratuito a una guía de teléfonos *online* y una variedad de servicios de pago. Minitel permaneció en uso durante casi tres décadas y dio servicio a casi la mitad de la población francesa. Al gestionarse los pagos mediante la compañía telefónica, fue uno de los primeros gestores de comercio electrónico, incluyendo reservas de avión y tren, compra al pormenor, gestiones bancarias y de bolsa, servicios de información y tableros de anuncios (McGrath 2004).

El desarrollo de redes públicas de datos puso de manifiesto una conciencia emergente —tanto por parte de usuarios individuales como a nivel estatal— de que el acceso a las comunicaciones informáticas era un bien de interés común, un recurso necesario para el ciudadano del siglo XXI. En el cumplimiento de esta misión las redes públicas de datos se vieron complementadas por la tercera tendencia que se dio en este periodo: las redes de base improvisadas. Estas redes de bajo coste utilizaban *software* existente para intercambiar correos y listas de debate entre una comunidad informal de usuarios. Las más conocidas eran USENET, establecida en 1979 y que empleaba protocolos UNIX, y BITNET, creada en 1981 con protocolos IBM. Dichas redes desempeñaron un papel importante a la hora de comunicar entre sí a personas sin acceso a la infraestructura formal de redes.

Diseñando Internet

¿Cómo fue que estos sistemas tan dispares de comunicación de datos se unieron en la red global que hoy llamamos Internet? Aunque en los años setenta del siglo pasado ya se establecieron algunas conexiones entre redes, las incompatibilidades de diseño limitaban sus servicios al intercambio de correos y noticias. Las tecnologías que permiten que un amplio abanico de servicios en red sea compartido por sistemas distintos surgieron del deseo de conectar ARPANET con dos nuevas redes que ésta había construido y que extendían la conmutación de paquetes a las comunicaciones por radio y satélite. Puesto que estos medios de comunicación no tenían las mismas características técnicas que las líneas telefónicas —las conexiones por radio no eran fiables; los satélites introducían el elemento retardo— las técnicas existentes tales como los protocolos X.25 o el original de ARPANET no servían. Por tanto, a principios de 1970 DARPA puso en marcha un Programa de Internet para desarrollar una solución exhaustiva a estos problemas de comunicación.

Otro avance técnico que ayudó a encauzar la demanda para comunicación entre redes fueron las LAN o *redes locales de área*. Ethernet, la más influyente de todas, la inventó en 1973 Robert Metcalfe a partir de una existente llamada Alohanet, creada a su vez por Norman Abramson, Frank Kuo y Richard Binder (Metcalfe 1996; Abramson 1970). Ethernet y Alohanet fueron pioneras de una técnica denominada *random access* o acceso aleatorio, que permitía a múltiples usuarios compartir un canal de comunicación sin necesidad de emplear complejos sistemas de enrutamiento.¹ La sencillez del diseño de acceso aleatorio acercó las redes de área local a un gran número de usuarios. Ethernet se estandarizó y comercializó a principios de los ochenta y pronto se adoptó en universidades, negocios y otras organizaciones. Otros sistemas populares LAN fueron las redes *token ring*, con topología de anillo, inventadas por investigadores de IBM en Zúrich y comercializadas en 1985. La populari-

dad de las LAN promovió la creación de muchas redes nuevas que podían, en principio, conectarse entre sí; pero, al igual que las redes por conmutación de paquetes, estos sistemas de acceso aleatorio no garantizaban una conexión fiable y por tanto no funcionaban bien con los protocolos existentes. Era necesario desarrollar un nuevo sistema.

El proyecto Internet estuvo dirigido por Vinton Cerf y Robert Kahn con la colaboración de ingenieros informáticos de todo el mundo. Además de investigadores estadounidenses del DARPA, Stanford, la Universidad del Sur de California, la Universidad de Hawai, BBN y el PARC de Xerox, Cerf y Kahn contaron con el asesoramiento de expertos en redes del University College London, los grupos NPL y CYLADES y el International Network Working Group o INWG (Cerf 1990). Este último se había fundado en 1972 e incluía representantes de muchas PTT nacionales que trabajaban en el desarrollo de redes de conmutación por paquetes. Al compartir preocupaciones e ideas, este equipo fue capaz de diseñar un sistema que respondería a las necesidades de usuarios con infraestructuras y necesidades diversas.

La arquitectura de Internet constaba de dos elementos principales. El primero era un conjunto de protocolos llamado TCP/IP (siglas de Transmission Control Protocol, Protocolo de control de transmisiones y de Internet Protocol, Protocolo para Internet, respectivamente) (Cerf y Kahn 1974).² El TCP era un ejemplo de *protocolo anfitrión*, cuya función es establecer y mantener la conexión entre dos ordenadores (*anfitriones*) dentro de una red. La idea detrás de TCP era que el protocolo anfitrión garantizara una conexión fiable entre anfitriones incluso si éstos estaban conectados por una red no fiable, por ejemplo de radiopaquete o el sistema Ethernet. Al reducir los requerimientos de fiabilidad de la red, el uso del protocolo TCP abrió Internet a muchas más redes. Con el fin de asegurar conexiones de confianza, TCP estaba diseñado para verificar la llegada en perfectas condiciones de los paquetes, empleando mensajes de confirmación llamados *asentimientos* (*acknowledgments*); para compensar errores retransmitiendo paquetes perdidos o dañados y para controlar el flujo de datos entre anfitriones limitando el número de paquetes en tránsito. Por el contrario, el Internet Protocol realizaba un conjunto de tareas mucho más sencillas que permitían a los paquetes pasar de una máquina a otra conforme circulaban por la red. IP se convirtió en el lenguaje común de Internet, el único protocolo requerido para cualquier red que quisiera unirse a ella: las redes miembro tenían libertad para escoger entre múltiples protocolos para otras capas del sistema (aunque en la práctica la mayoría terminó por adoptar TCP como protocolo anfitrión). En tanto reflejo de la diversidad de necesidades y preferencias de los expertos que participaron en su diseño, la arquitectura de Internet favorecía la variedad y la autonomía entre sus redes miembro.

1 La versión mejorada de Metcalfe del sistema de acceso aleatorio recibió el nombre de Carrier Sense Access with Collision Detection (CSMA/CD, Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones).

2 Originariamente había un solo protocolo, TCP, que más tarde se escindió en dos: TCP e IP, en 1980.

El segundo elemento creativo fue el uso de ordenadores especiales llamados puertas de acceso o *gateways* a modo de interfaz entre redes diferentes (Cerf 1979). En la actualidad se conocen como *router* y, tal y como su nombre indica, su función es determinar la ruta que los paquetes deben seguir para pasar de una red a otra. Una red dirige paquetes no locales a una puerta de acceso cercana, la cual a su vez los envía a su red de destino. Al repartir la tarea de enrutamiento entre distintas redes y *gateways*, esta arquitectura hacía más fácil el crecimiento de Internet: las redes individuales ya no necesitaban conocer la topología de toda la red, tan sólo saber cómo llegar a la puerta de acceso más cercana; a su vez, las puertas de acceso no precisaban ser capaces de llegar a todas las redes dentro de Internet, únicamente a los anfitriones individuales dentro de una red.

Otro invento notable que contribuyó a hacer más manejable el crecimiento a escala global de Internet fue el Sistema de nombres por dominio o *Domain Name System*, creado en 1985 por Paul Mockapetris (Cerf 1993; Leiner et al. 1997). Uno de los retos de la comunicación en una red de gran tamaño es que por lo general pasa por conocer la dirección del ordenador de destino. Mientras que los seres humanos suelen referirse a los ordenadores con nombres (como «Darpa»), los ordenadores que forman parte de la red se identifican unos a otros mediante direcciones numéricas. En la ARPANET originaria los nombres y direcciones de todos los ordenadores, excepto los anfitriones, se guardaban en un gran archivo que tenía que ser constantemente actualizado y distribuido a todos los anfitriones. Claramente este mecanismo no estaba a la altura de una red de miles e incluso millones de ordenadores. El Sistema de nombres por dominio descentralizó la tarea de localizar direcciones creando grupos de nombres conocidos como *dominios* (tales como .com o .org) y ordenadores especiales llamados *servidores de nombres*, encargados de mantener bases de datos con las direcciones correspondientes a cada nombre de dominio. Para encontrar una dirección el anfitrión únicamente debía introducir sus términos de búsqueda en el servidor apropiado. El nuevo sistema también permitía descentralizar la autoridad para asignar nombres de manera que, por ejemplo, cada país pudiera controlar su propio dominio.

La World Wide Web y otras aplicaciones

La arquitectura de Internet hizo posible construir una infraestructura mundial de datos, pero no se ocupaba directamente del asunto de los contenidos. En la década de 1980 casi todos los contenidos de Internet eran puro texto. Era relativamente difícil para los usuarios localizar la información deseada; para ello debían conocer de antemano la dirección del sitio que contenía los datos, puesto que no existían motores de búsqueda ni vínculos entre distintos sitios. La gran innovación que vino a transformar la manera en que los contenidos de Internet son creados, presentados y encontrados fue la World Wide Web.

La World Wide Web fue la creación de Tim Berners-Lee, un investigador británico del CERN, el laboratorio internacional de Física de Ginebra. Éste imaginó el futuro de Internet como un espacio colaborativo en el que las personas pudieran compartir información de todo tipo. En el modelo que propuso, los usuarios podían crear páginas de contenidos en ordenadores llamados *servidores web*, y las páginas *web* podían verse mediante un programa llamado *browser*. La Web tendría capacidad para manejar información multimedia además de texto y las páginas *web* podrían conectarse entre sí mediante *hipervínculos*, de forma que los usuarios pudieran navegar entre sitios basándose en contenidos relacionados entre ideas de diferentes páginas. Esto crearía una red de conexiones basadas en contenidos en lugar de en infraestructura. Berners-Lee formuló sus ideas en 1989 y en 1990 creó, junto a su colaborador Robert Cailliau, la primera versión operativa de la Web. Los soportes técnicos del nuevo sistema incluían *html* (lenguaje de marcas de hipertexto, empleado para crear páginas *web*), *http* (protocolo de transferencia de hipertexto, para transmitir datos de las páginas *web*) y el *url* (localizador uniforme de recursos, una forma de indicar la dirección de una página *web* determinada).

El uso de la Web se popularizó entre los físicos del CERN, quienes lo extendieron a otros sitios de investigación. En uno de ellos, el US National Center for Supercomputer Applications (NCSA), Marc Andreessen capitaneó el desarrollo de un buscador mejorado llamado Mosaic en 1993. El Mosaic funcionaba tanto en ordenadores personales como en aparatos más grandes y el NCSA lo cargó de forma gratuita en Internet, lo que provocó un interés creciente en la Web. En 1994 se calculaba que había al menos un millón de copias de Mosaic en uso (Schatz y Hardin 1994).

Los hipervínculos de la Web se diseñaron para resolver un persistente problema para los usuarios de Internet: cómo encontrar información dentro de un sistema tan grande. Con el fin de resolverlo, en la década de 1990 se desarrollaron varias herramientas de búsqueda. Una de las primeras fue Archie (1990), el cual enviaba preguntas a ordenadores conectados a Internet y reunía listados a partir de ficheros de libre acceso. Gopher (1991) era un sistema de listado específico para la Web, mientras que Yahoo (1994) era un directorio de páginas *web* organizadas por temas. El personal de Yahoo categorizaba dichas páginas de forma manual; sin embargo, dado el gran volumen de información que se iba acumulando en la Web, surgieron una serie de servicios que tenían por objeto automatizar las búsquedas. El más exitoso de estos *motores de búsqueda* fue Google (1998). Estas herramientas transformaron la forma en que los usuarios localizaban información en la Web, al permitirles buscar información sobre un tema en particular en un gran número de fuentes, en lugar de tener que conocer de antemano cuáles de éstas podrían contener información relevante.

Al igual que Internet, la Web se diseñó para ser flexible, expandible y descentralizada, de forma que invitara al público a desarrollar nuevas maneras de usarla. La generalización del uso de la World Wide Web coincidió con el traspaso, en 1995, de la gestión de Internet del gobierno al sector privado. Ello hizo desaparecer numerosas barreras para el uso comercial de Internet y trajo consigo el auge de las empresas «punto com» en la década de 1990, cuando se invirtieron grandes sumas de capital en proyectos de comercio electrónico. Aunque la burbuja de las «punto com» estalló en el año 2000, el fenómeno sirvió para fomentar un conocimiento de Internet como motor económico y no una mera innovación tecnológica a nivel popular. La llegada del siglo *xxi* también trajo consigo la proliferación de los *medios de comunicación sociales*, que proporcionaban nuevas formas de relacionarse y compartir información en línea. Éstos incluían *weblogs* (1997), *wikis* (1995), *file sharing* (compartir archivos, 1999), *podcasting* (2004) y sitios de redes sociales, así como una gran variedad de juegos multijugador.

Internet y la sociedad: éxitos y desafíos a futuro

Después de un siglo y medio de investigación e innovaciones, Internet quedó firmemente establecido como un recurso accesible para muchas personas y que ofrecía una amplia variedad de beneficios potenciales. Los usuarios tenían mayor acceso a todo tipo de información y los gobiernos y negocios disponían de una nueva plataforma para proporcionar información y servicios. El comercio electrónico trajo consigo crecimiento económico, mayor amplitud de oferta para los consumidores y oportunidades para productores, que trabajaban en las áreas más desfavorecidas, de llegar a nuevos mercados. Una variedad de opciones de comunicación, desde el correo electrónico a elaboradas redes sociales, hacían más fácil a amigos y familias separados geográficamente estar en contacto, y a extraños formar «comunidades virtuales» en torno a intereses comunes. Los organizadores de base adoptaron Internet como plataforma de activismo político y social y empezaron a emplearlo para movilizar respuestas masivas a desastres naturales y violaciones de derechos humanos. Usuarios de todas las edades saludaron a Internet como un medio de expresión personal y las nuevas aplicaciones ayudaron a democratizar la tecnología, posibilitando que el ciudadano de a pie generara y difundiera noticias, información, opinión y entretenimiento.

Sin embargo, llegado el siglo *xxi* son todavía muchos los desafíos a los que se enfrenta Internet. Los usuarios eran víctimas de prácticas abusivas como el *spam* (correo comercial no deseado), virus, usurpación de identidad y piratería. Los expertos técnicos responden con soluciones que intentan minimizar estos peligros continuos diseñando sistemas anti virus, filtros, transacciones seguras y otras medidas. Pero hay otras cuestiones demasiado controvertidas para que una solución técnica satisfaga una opinión pública dividida, especialmente cuando se trata de actividades que traspasan las fronteras nacionales. Algunos

gobiernos optaron por limitar de forma estricta y supervisar las actividades en línea de sus ciudadanos. Cuando las asociaciones pro derechos humanos protestaron calificando dichas medidas de censura y represión, los gobiernos en cuestión defendieron su derecho a proteger la seguridad y la moral públicas. Otros grupos se quejaron de que Internet estaba *demasiado* abierta a contenidos objetables o ilegales, tales como pornografía infantil o la piratería de películas, canciones y *software*. Los mecanismos de filtrado y protección han proporcionado medios para restringir el flujo de esta clase de información, pero son en sí controvertidos. La gestión de Internet también ha resultado ser un asunto espinoso, con muchas naciones exigiendo un funcionamiento más internacional y con menor intervención estadounidense a la hora de gestionar el sistema de direcciones y nombres en Internet.³ Otra cuestión técnica pero con ramificaciones políticas fue la propuesta de transición del antiguo Protocolo de Internet, llamado IPv4 a uno nuevo de nombre IPv6, que proporcionaría un número mucho mayor de direcciones disponibles (Bradner y Mankin 1996); esto fue en parte una respuesta al hecho de que Estados Unidos poseía una porción totalmente desproporcionada de las direcciones del IPv4. El IPv6 se propuso como nuevo estándar de Internet en 1994, pero debido a desavenencias políticas y técnicas, quince años más tarde sólo era usado para una proporción minúscula del tráfico total de la red (DeNardis 2009). A pesar de todos estos obstáculos, el proceso de desarrollo descentralizado y basado en el consenso de Internet continúa funcionando lo suficientemente bien como para mantenerse próspero y en crecimiento y cambio constantes.

Tal vez lo más preocupante sea la persistencia de la desigualdad en acceso a Internet y a las oportunidades que éste conlleva de mejora económica, participación política, transparencia gubernamental y desarrollo científico y tecnológico. Aún existen diferencias significativas entre regiones pobres y ricas, rurales y urbanas, mayores y jóvenes. Naciones Unidas publicó en 2007 un informe según el cual las desigualdades en cuanto a acceso digital eran todavía enormes: «Más de la mitad de la población de las regiones desarrolladas usaba Internet en 2005, comparado con un 9% en las regiones en vías desarrollo y un 1% en los países menos desarrollados» (Naciones Unidas 2007, 32). Para ayudar a paliar estas diferencias, Naciones Unidas y el Sindicato Internacional de Comunicaciones patrocinaron dos cumbres mundiales: en la Information Society de Ginebra en 2003 y en Túnez, en 2005, con el fin de diseñar un plan de acción que proporcione acceso a las tecnologías de la información y la comunicación a todas las gentes del mundo (WSIS 2008). Ingenieros informáticos también dedican sus esfuerzos a hacer Internet más accesible a los desfavorecidos del mundo. Por ejemplo, en 2001 un grupo de ingenieros informáticos indios revirtieron el paradigma de ordenadores personales costosos y de alto consumo de energía creando el Simputer: un ordenador sencillo, de

³ La «internacionalización» de la gestión de Internet fue el tema central de la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información patrocinada por Estados Unidos en 2005.

4
Los creadores y administradores del proyecto Simputer fueron Vijay Chandru, Swami Manohar, Ramesh Hariharan, V. Vinay, Vinay Deshpande, Shashank Garg y Mark Mathias (<http://www.simputer.org/simputer/people/trustees.php>).

bajo coste y consumo dotado de un interfaz en varias lenguas y que podía ser compartido por todos los habitantes de un pueblo (Sterling 2001).⁴ De forma similar, Nicholas Negroponte puso en marcha el proyecto «Un ordenador personal por niño» en 2005 para cubrir necesidades educativas en países en vías de desarrollo. Para ayudar a adaptar la tecnología a las necesidades de cada lugar, la famosa diseñadora Mary Lou Jensen inventó una pantalla muy práctica y económica legible a la luz del sol, y el diseñador de *software* Walter Brender hizo lo mismo con una interfaz de usuario intuitiva (One Laptop Per Child 2008; Roush 2008). El Desafío de Estocolmo, un evento que se celebra anualmente desde 1995, sirve de escaparate a cientos de iniciativas innovadoras procedentes de todo el mundo que utilizan tecnologías de la comunicación e información para promover el desarrollo (Desafío de Estocolmo 2008).

Expandir las fronteras de Internet ya no es patrimonio exclusivo de los ingenieros informáticos y científicos, sino que implica cada vez en mayor grado la colaboración entre organizaciones civiles, gobiernos y ciudadanos. Los valores que guían el desarrollo técnico y social de Internet han sido complementarios: mayor acceso, apertura a la diversidad, descentralización, toma de decisiones por consenso entre un número elevado de participantes y la posibilidad de que los usuarios contribuyan de forma activa. Desde el punto de vista técnico estos objetivos se han alcanzado por medio de una arquitectura de capas, protocolos abiertos y un proceso colaborativo a la hora de aprobar y diseñar cambios, mientras que las metas sociales han requerido del liderazgo de gobiernos y de la inspiración de personas que fueron capaces de ver el potencial de Internet para la comunicación, la cooperación y la expresión individual.

Bibliografía

- Abbate, J. *Inventing the Internet*. Cambridge: MIT Press, 1999.
- Abramson, N. «The ALOHA System—Another Alternative for Computer Communications». *Proceedings, AFIPS Fall Joint Computer Conference*. Montvale, Nueva Jersey: AFIPS Press, 1970: 281–285.
- Baran, P. *On Distributed Communications*. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1964.
- Berners-Lee, T. *Weaving the Web*. Nueva York: Harper Collins, 1999.
- Bradner, S. «The Internet Standards Process—Revision 3». Network Working Group Request for Comments 2026, octubre 1996. Disponible en Internet en: <http://www.rfc-editor.org/>
- , y A. Mankin. «The Recommendation for the IP Next Generation Protocol». Network Working Group Request for Comments 1752, enero 1995. Disponible en Internet en: <http://www.rfc-editor.org/>
- Campbell-Kelly, M. y W. Aspray. *Computer: A History of the Information Machine*. Nueva York: Basic Books, 1996.
- Cerf, V. G. «DARPA Activities in Packet Network Interconnection». En K. G. Beauchamp, ed. *Interlinking of Computer Networks*. Dordrecht, Holland: D. Reidel, 1979.
- , «Oral history interview» por Judy O'Neill (Reston, VA, April 24, 1990), OH 191. Minneapolis, Minnesota: The Charles Babbage Institute, University of Minnesota, 1990. Disponible en Internet en: <http://www.cbi.umn.edu/oh/display.phtml?id=118>.
- , «How the Internet Came to Be». En B. Aboba, ed. *The Online User's Encyclopedia*. Addison-Wesley, 1993.
- , y R. E. Kahn. «A Protocol for Packet Network Intercommunication». *IEEE Transactions on Communications* COM-22 (mayo 1974): 637–648.
- Cumbre mundial sobre la sociedad de la información. <http://www.itu.int/wsis/> (consultado el 5 de septiembre de 2008).
- DeNardis, L. *Protocol Politics: The Globalization of Internet Governance*. Cambridge: MIT Press, 2009.
- Desafío de Estocolmo. www.challenge.stockholm.se/ (consultado el 5 de septiembre de 2008).
- Laws, J. y V. Hathway. «Experience From Two Forms of Inter-Network Connection». En K. G. Beauchamp, ed. *Interlinking of Computer Networks*. OTAN, 1978: 273–284.
- Leiner, B. M., V. G. Cerf, D. D. Clark, R. E. Kahn, L. Kleinrock, D. C. Lynch, J. Postel, L. G. Roberts y S. Wolff. «A Brief History of the Internet». 1997. Disponible en Internet en: <http://www.isoc.org/internet-history>. Revisado en febrero de 1997.
- McGrath, D. «Minitel: The Old New Thing». *Wired*, 18 de enero de 2004. Disponible en Internet en: <http://www.wired.com/science/discoveries/news/2001/04/42943>.
- Metcalfe, R. M. *Packet Communication*. San José: Peer-to-Peer Communications, 1996.
- Naciones Unidas. *The Millennium Development Goals Report 2007*. Nueva York: Naciones Unidas, 2007.
- One Laptop Per Child. <http://www.laptop.org/> (consultado el 5 de septiembre de 2008).
- Pouzin, L. «Presentation and Major Design Aspects of the CYCLADES Computer Network». En R. L. Grimsdale y F. F. Kuo, eds. *Computer Communication Networks*. Leyden: Noordhoff, 1975.
- Quarterman, J. S. *The Matrix: Computer Networks and Conferencing Systems Worldwide*. Burlington, Massachusetts: Digital Press, 1990.
- Roush, W. «One Laptop Per Child Foundation No Longer a Disruptive Force, Bender Fears». *Xconomy*, 24 de abril de 2008. Disponible en Internet en: <http://www.xconomy.com/boston/2008/04/24/>
- Schatz, B. R. y J. B. Hardin. «NCSA Mosaic and the World Wide Web: Global Hypermedia Protocols for the Internet». *Science* 265 (1994): 895–901.
- SITA. «SITA's history and milestones». http://www.sita.aero/News_Centre/Corporate_profile/History/ (actualizado el 21 de julio de 2006, consultado el 5 de septiembre de 2008).
- Sterling, B. «The Year in Ideas: A to Z; Simputer». *The New York Times*, 9 de diciembre de 2001.