

vt

informe de vigilancia tecnológica

serie
informes de tecnologías clave de la Comisión Europea

miod

tecnologías
clave para europa:
comunicaciones

Petros Kavassalis

www.madrimasd.org



miod

vt

mi+d

informe de **vigilancia** tecnológica

serie
informes de tecnologías clave de la Comisión Europea

**tecnologías clave
para europa:
comunicaciones**

Petros Kavassalis

www.madrimasd.org



mi+d

Edición española coordinada por:



Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educativos, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright.

© De los textos: Petros Kavassalis
Grupo Antalis en la Universidad de Creta

© De las traducciones: Irina Vidal Migallón

Revisado por: Ana Belén Bermejo Nieto

Traducidos con el permiso de la CE.

- 5 RESUMEN
- 9 CAPÍTULO 1
Los retos socio-económicos para Europa en Comunicaciones
- 13 CAPÍTULO 2
La base científica y tecnológica europea en las comunicaciones
 - 2.1. La posición de la UE en el sector (PÁG. 14)
 - 2.2. Actividades de investigación de la UE en Comunicaciones (PÁG. 18)
 - 2.3. La necesidad de la UE de establecer prioridades de investigación efectivas a largo plazo en el ámbito de las comunicaciones (PÁG. 25)
 - 2.4. Los fundamentos cognitivos para la investigación a largo plazo: entender la evolución de Internet para superar futuros retos (PÁG. 29)
- 41 CAPÍTULO 3
Análisis DAFO
- 45 CAPÍTULO 4
Desarrollo de una visión para una agenda de investigación
 - 4.1. Diseños de red y nuevas arquitecturas para Internet (PÁG. 52)
 - 4.2. Modelos para la comprensión de las redes actuales y futuras (PÁG. 58)
 - 4.3. Ciberinfraestructura, redes digitales y economía de la información (PÁG. 65)
 - 4.4. El triángulo Internet, Móvil, Inalámbrica (o más allá de "beyond-3G") (PÁG. 74)
- 85 CAPÍTULO 5
Cuestiones interdisciplinares
- 87 CAPÍTULO 6
Referencias

Resumen

Este informe examina algunos retos tecnológicos y organizativos, tomando en consideración tanto los desarrollos actuales en curso como la evolución a largo plazo de Internet y de las redes digitales en expansión. Da una visión general del lugar que ocupa la UE (debilidades – amenazas – fortalezas – oportunidades) en esta área crítica para el desarrollo y la prosperidad de las Tecnologías para la Sociedad de la Información (TSI) y proporciona asimismo una prospección de los próximos retos para la investigación.

Durante estos últimos años las redes digitales se han convertido en una componente crítica para los nuevos negocios y funcionalidades sociales que serían completamente imposibles de obtener de otra forma. Esto es debido a que las tecnologías de comunicación han salido de laboratorios y sedes centrales de operadores de telecomunicaciones y han pasado a ser ubicuas en los procesos de producción e intercambio, en los canales de distribución y prácticamente en toda estructura de organización que da forma a la vida económica y social moderna. Internet representa la propulsión de esta evolución y el “motor de producción” de muchas de las nuevas aplicaciones en red. Estas aplicaciones, introducidas desde el “exterior” de la red, añaden diversidad y una creciente complejidad a una infraestructura de comunicaciones muy heterogénea que necesita ser más eficiente, robusta y fiable.

Análogamente, la investigación en tecnologías de comunicación ha salido de los laboratorios especializados de los viejos operadores de telecomunicaciones y cambiado métodos y orientaciones. Pero se ha reducido la investigación a largo plazo considerablemente, a favor de una estrategia de I+D más “comercial”, dirigida a la producción de tecnologías a más corto plazo, la innovación relacionada con el producto y las soluciones de red a medida. Sin embargo, la Internet pública crece y prospera, atraviesa varias oleadas de innovación para enfrentarse a nuevos requisitos, cambiando de ese modo continuamente su estructura. Simultáneamente, las redes móviles mantienen su ritmo de crecimiento gradual y se imponen como una seria alternativa de infraestructura frente a los servicios de voz preexistentes, ampliando Internet con nuevas ramificaciones, además de las redes inalámbricas y ad hoc de reciente aparición. En pocas palabras, las infraestructuras de comunicación deberían definirse ahora en términos generales, puesto que se están volviendo cada vez más complejas y heterogéneas y necesitan ser más “evolutivas”, desplegando nuevas ideas para redes que desarrollen el potencial de las “tecnologías convergentes” e incorporando estas nuevas ramas de manera totalmente fluida. Además, deberían permitir que apareciese una economía de la información real y otras estructuras virtuales que den soporte a comunidades y vidas sociales y profesionales. ¿Tenemos el instrumento adecuado para responder a estos retos?

Muchos investigadores y observadores de la industria parecen reconocer que, al enfrentarnos a esta complejidad, tenemos la absoluta necesidad de dirigirnos de nuevo hacia la investigación a largo plazo y de gran impacto y definir una política

de Comunicaciones más ambiciosa en este aspecto. Pero, como se concluía¹ en un workshop realizado en la Universidad de Columbia, para “justificar el apoyo y la inversión, es necesario articular y promulgar una visión de los logros y la razón de ser de la investigación fundamental”. Dicha visión, y ésta es esencialmente la recomendación de este informe, podría aceptar que, actualmente, la investigación a largo plazo debería, por supuesto, contribuir en la definición de un horizonte más amplio para la innovación, pero también debe ser eficaz en cuanto a: I) el reconocimiento de áreas prioritarias (y seleccionar los problemas en áreas de investigación claves) con un gran impacto en la evolución de las redes y tecnologías de comunicación; II) el uso de varias perspectivas diferentes, que vayan de la investigación más pura, a la básica y la aplicada de alto nivel, así como ingeniería de sistemas – y tal vez la admisión de apoyo interdisciplinar; y, finalmente, III) atender los asuntos relevantes relacionados con las políticas necesarias para estimular la transferencia de tecnología de investigación a aplicación.

En Europa, aunque la investigación a largo plazo en las comunicaciones se ha visto afectada hasta cierto punto por esta presión para obtener resultados inmediatos y “comerciales”, las estructuras públicas que dan apoyo a la investigación parecen tener mayor sustancia y vigor que en otros países. Por otro lado, la investigación a largo plazo se está imponiendo en general como un valor en común entre responsables europeos de la creación de políticas y ciudadanos. La necesidad de Europa es más bien la de equilibrar los recursos entre la investigación orientada a mercado y de bajo riesgo y la investigación a largo plazo, de gran impacto y alto riesgo², y dar a esta última la estructura organizativa real para convertirse en la “base” sostenible para la innovación. Y el reto para Europa no es exactamente “articular y promulgar” una fundamentación para la investigación a largo plazo en comunicaciones, sino en realidad entender los caminos evolutivos de estas tecnologías y definir unas prioridades reales para la investigación a largo plazo, que le “den sentido” en la siguiente fase del ciclo evolutivo – que sucederá a este periodo decisivo y desplegará completamente el potencial del paradigma de la “Era de la Información”. De hecho, una de las principales debilidades de Europa, tal y como se observa tras el análisis DAFO que hemos realizado, es una “capacidad de absorción en el aprendizaje” aparentemente limitada con respecto a las transformaciones de Internet. Pero las oportunidades surgen hoy precisamente de la comprensión y de la ventaja que supone el potencial de estas transformaciones (que crean condiciones para cambios perturbadores y que dan lugar a una re-distribución de posiciones) y de la experimentación con nuevas arquitecturas y diseños – especialmente en lo que respecta a las comunicaciones móviles, en las que Europa goza de una posición de liderazgo.

¹ Ver el informe de dicho Workshop, titulado “Investigación básica en las telecomunicaciones”, disponible en http://www.citi.columbia.edu/CITI_Research_advisorycomm.pdf.

² Ésta es también una de las recomendaciones del Proyecto FISTERA (Análisis Prospectivo de las Tecnologías de la Sociedad de la Información en EU25+; en el inglés original: Foresight Analysis on Information Society Technologies in EU25+), ver: <http://fistera.jrc.es/>

Hemos decidido no aportar en este documento una lista de tecnologías críticas que condicionarán el futuro de este campo o una taxonomía detallada de áreas de investigación de alto potencial. En su lugar esbozamos algunas áreas clave (llenas de problemas de investigación abiertos, que provienen de la “complejidad socioeconómica” de Internet y de los inmensos retos de coordinación que presenta), que se encuentran en el núcleo de la evolución de las tecnologías y redes de comunicación. Para hacer esto, hemos optado deliberadamente por una breve investigación de la trayectoria evolutiva de la industria de las telecomunicaciones para entender, a través del retrato de los caminos evolutivos, cuáles son los requisitos críticos actuales y futuros. Hemos representado algunos de ellos: *nuevas arquitecturas de diseño*, *teorías de red formales* y (la necesidad de) *investigación interdisciplinar*. Durante este análisis evolutivo, pudimos apreciar también los límites en expansión del sector, que en la era actual de las “post-telecomunicaciones” parecen abarcar una amplia gama de “bloques” independientes que interactúan, infraestructuras, aplicaciones, servicios y más: redes digitales que pasan a ocupar el lugar de los mercados físicos (localizados) e intercambios físicos, para conectar -de una manera sin precedentes- sistemas, procesos y funciones dentro de las empresas y entre ellas, entre negocios y clientes, y entre los propios clientes, así como entre gobiernos, ciudadanos, comunidades educativas, sociales y profesionales, etc. En resumen, he aquí las áreas clave de investigación a largo plazo recomendadas por este informe:

1. Infraestructuras tecnológicas habilitadoras y tecnologías de seguridad.
2. Aplicaciones (con énfasis en aplicaciones de tiempo real y corporativas).
3. Diseño de red y nuevas arquitecturas para Internet.
4. Modelos para la comprensión de las redes de actuales y futuras.
5. Ciberinfraestructuras, redes digitales y economía de la información.
6. El triángulo: Internet, Movilidad, Inalámbrico (o más allá de “beyond-3G”).

CAPÍTULO 1

Los retos socio-económicos para Europa en Comunicaciones

En todos los países desarrollados, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) se consideran como uno de los mayores motores del crecimiento [1]. En Europa, como se puso de manifiesto en los objetivos de Lisboa y en la estrategia i2010 [2, 3], más reciente, las TIC se han convertido en una prioridad esencial de las políticas. El rendimiento en las TIC está aceptado mayoritariamente como una condición para el fortalecimiento de la competitividad de la economía europea y como una estrategia principal para hacer a la UE “atractiva” de cara a las inversiones extranjeras, tal y como destacó el Comisario G. Verheugen. La alta prioridad que se dio en el proceso de Lisboa al crecimiento y ajuste de la economía, dentro de las nuevas condiciones de la propia economía guiada por el conocimiento, se ve reflejada también en el creciente apoyo financiero a la investigación aún no competitiva en las TIC, que se provee a través de sucesivos Programas Marco de investigación de la UE.

Las TIC son una vasta área industrial que incluye varias actividades y mercados. De acuerdo con la OCDE [4], el principio de referencia para la delimitación de las TIC debería llevar a una definición del sector sobre la base “de las industrias de fabricación y servicios, cuyos productos capturan, transmiten, muestran datos e información electrónicamente”. Aparentemente esta definición abarca actividades pertenecientes a un amplio conjunto de industrias (de las TIC y ajenas a ellas), desde hardware y equipamiento de telecomunicaciones hasta software y servicios de comunicación (incluso servicios de consultoría basados en tecnología de la información). En última instancia, todos se llevan a cabo mediante el uso de ordenadores y tecnologías de comunicación.

Las redes de comunicación, que son el tema específico que trata este informe, es un dominio particular del sector de las TIC que abarcan aquellas tecnologías que conectan personas, negocios y mercados moviendo datos e información. Hoy por hoy, Internet, una infraestructura compleja constituida por muchas redes heterogéneas y que conecta millones de usuarios, está en el centro del dominio de las comunicaciones digitales. La gente cree que Internet es el motor de crecimiento de una Sociedad de la Información donde el conocimiento juega un papel primordial en la creación de la “riqueza de las naciones”, y el “rendimiento creciente” guía el proceso competitivo. Hace muchos años era otra tecnología de comunicación, una combinación de vías ferroviarias y redes telegráficas, la que revolucionó el mundo industrial haciendo posible una eficiencia asombrosa, obtenida a través de la “economía de escala” generada por el “sistema de producción en masa”, e introdujo el concepto de empresa de negocios a gran escala y su compleja jerarquía de gestión.

Pero Internet es una red descentralizada que ha evolucionado desde el “exterior”, desde las decisiones de los nodos de la red en los que se encuentran los usuarios finales de Internet. Cómo operar una red como ésta para dar servicios de información eficientes representa un gran reto para Europa y a este respecto existen abundantes oportunidades que deben aprovecharse. Europa puede desarrollar nuevas fortalezas en el campo de la comunicación, donde su posición ha sido tradicionalmente fuerte, y

las sociedades europeas pueden beneficiarse globalmente del mejor uso de los recursos de Internet. Por lo tanto, la política de retos consiste en realizar una acción anticipada basándose en:

- El desarrollo del potencial de: I) las cambiantes características de Internet y la infraestructura de red móvil que ha surgido como un complemento de facto de Internet, II) los nuevos requisitos que surgen de las aplicaciones a las que estas redes dan soporte y, III) las redes digitales en expansión (las redes digitales se apoyan en la funcionalidad de Internet para conquistar los mercados físicos localizados e intercambios físicos, para conectar, de una manera sin precedentes, sistemas procesos y funciones dentro de las empresas y entre ellas, entre negocios y clientes, y entre los propios clientes, así como entre gobiernos, ciudadanos, comunidades educativas, sociales y profesionales, etc.
- La aceleración de la difusión de Internet dentro del corpus de la economía y la estimulación de la adopción de las redes digitales por parte de las empresas y administraciones públicas en Europa.

Comprender las vías de la evolución de Internet y resolver, basándose en esta comprensión, problemas prácticos nuevos introducidos por las redes descentralizadas, contribuirá a la realización de una ciencia ingenieril fuerte y flexible en Europa y a elaborar estrategias de negocio innovadoras que puedan extraer un valor mayor de las infraestructuras de la Sociedad de la Información. Estimular el uso de Internet es útil para mejorar las necesidades económicas y sociales esenciales de la sociedad europea. Desde luego ambos asuntos tienen relación con los complejos procesos de creación de políticas y de estrategias, pero en ambos la I+D es un aspecto crítico. Tal y como explicaremos más adelante, el comprender en profundidad la evolución de Internet (generalmente, explorando el potencial de las redes digitales emergentes) y proveer las respuestas apropiadas a los nuevos requisitos, esencialmente depende de la investigación a largo plazo. Dicha investigación debería ayudar a una acción eficaz de las empresas europeas de cara a ejercer una influencia sobre el futuro de la tecnología y facilitaría el papel de los mercados como proveedores de capital para inversiones tecnológicas.

CAPÍTULO 2

La base científica y tecnológica europea en las comunidades

- 2.1. La posición de la UE en el sector (PÁG. 14)
- 2.2. Actividades de investigación de la UE en Comunicaciones (PÁG. 18)
 - 2.2.1 Perspectiva tecnológica (PÁG. 18)
 - 2.2.2 Políticas respuesta de la UE (PÁG. 20)
- 2.3. La necesidad de la UE de establecer prioridades de investigación efectivas a largo plazo en el ámbito de las comunicaciones (PÁG. 25)
- 2.4. Los fundamentos cognitivos para la investigación a largo plazo: entender la evolución de Internet para superar futuros retos (PÁG. 29)
 - 2.4.1 Un poco de (Pre)Historia (PÁG. 29)
 - 2.4.2 El impacto de internet y su evolución: entender la “textura” del cambio tecnológico en curso (PÁG. 30)
 - 2.4.2.1. La condición inicial: la separación IP (PÁG. 30)
 - 2.4.2.2. La evolución “normal” en la trayectoria (PÁG. 33)
 - 2.4.2.3. La confusión tecno-política y la necesidad imperativa de nuevas consideraciones relativas a la arquitectura (PÁG. 37)
 - 2.4.2.4. Redes digitales (PÁG. 40)

2.1 La posición de la UE en el sector

Como se ha mencionado ya, Europa tiene históricamente una posición fuerte en el sector de las comunicaciones, especialmente en el campo de las tecnologías y redes móviles, en las que mantiene su liderazgo. Tradicionalmente la UE tiene un mejor rendimiento en el sector de las comunicaciones (la C de las TIC) que en el sector de las tecnologías de la información (TI), donde aún no ha conseguido ponerse a la altura de EEUU y los países asiáticos. Muchos creen que Europa parece haber perdido parte de su liderazgo incluso en la industria de las telecomunicaciones, donde tenía una ventaja neta en la era anterior a Internet, i.e. en los tiempos de las arquitecturas de redes de conmutación de circuitos [5]. Pero incluso, de ser así, parece que durante los últimos 5 años la UE mantiene ese liderazgo (o por encima de la media de desarrollo) en un cierto número de tecnologías claves de comunicación: 3G, antenas, teléfonos móviles y dispositivos de información, estaciones base digitales móviles, procesado de señales digitales y procesado móvil, redes grid, transmisión por red eléctrica (Power Line), conectividad radioeléctrica, tecnologías Wi-Fi y SDR (o *reconfiguración radio*). Al menos ésta ha sido recientemente la conclusión de un exhaustivo estudio FISTERA³ [14]. Según este estudio, para Europa las cosas están lejos de ir mal y, viendo su actuación en el ámbito de las comunicaciones, parece una afirmación razonable. Según el documento de 2004 de la OCDE *Information Technology Outlook* [7], seis empresas de la UE aparecen entre las diez principales empresas de servicios de telecomunicación, tres entre las diez principales en equipamiento de comunicaciones y empresas de sistemas, y dos entre las diez principales en el área de electrónica y componentes, relacionada con las comunicaciones⁴. G. Dosi et al apuntan que estos resultados son la excepción a la regla que confirma la debilidad general de la UE como productora de líderes mundiales en la industria: sólo 33 (13%) de las 250 primeras empresas de las TIC en el mundo tienen su sede en Europa, mientras que 139 (56%) operan en EEUU [5].

En sectores tecnológicos, las posiciones preeminentes de las empresas, los altos porcentajes de las exportaciones mundiales y los resultados innovadores están todos, de alguna manera, condicionados por las inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D). Las investigaciones en las tecnologías y redes de comunicación no pueden estar “aisladas” a nivel financiero dentro de lo que las estadísticas identifican como costes I+D de las TIC. Sin embargo, sabemos que en todos los países desarrollados la I+D en comunicaciones

³ FISTERA is a Thematic Network on Foresight on Information Society Technologies in the European Research Area (2002-2004), coordinated by JRC-IPTS (see: <http://fistera.jrc.es/>).

⁴ Un análisis de patentes triádicas en los campos de comunicaciones móviles y de datos muestran resultados similares. Tal y como revela otro estudio FISTERA [8], las compañías europeas están entre las más importantes en ambos campos, aunque no sean las primeras. Según el mismo estudio, debe destacarse que las empresas europeas están fuertes en el campo de las comunicaciones de datos, campo en el que varias empresas de EEUU, como Cisco, o Asia tienen una presencia muy activa.

(sobre todo en lo que tradicionalmente se ha denominado como telecomunicaciones) es una parte considerable del presupuesto para investigación de las TIC (especialmente en Europa, donde las inversiones en TIC están especialmente destinadas a hardware e infraestructuras de comunicaciones). También sabemos que, en general, el nivel global de inversión I+D en TIC se ha resentido en los últimos años [9] debido a la ralentización financiera, que siguió a la “burbuja de las punto com”, y a la desregulación del sector de las telecomunicaciones (las operadoras de telecomunicaciones, al ser privatizadas, han retirado recursos de los proyectos I+D a largo plazo). Pero los mismos datos estadísticos referentes a la propia industria de las telecomunicaciones en Europa indican que la actividad de I+D en equipos de telecomunicación no muestra tal disminución de intensidad durante el mismo periodo [10].

En realidad, las empresas europeas del sector de las telecomunicaciones mantienen un porcentaje de ingresos tras los costes de investigación y, adicionalmente, muestran buenos resultados en tecnologías de comunicación (i.e. patentes) en comparación con la industria estadounidense [10, 5]. Más aún, se ve una tendencia similar en electrónica de consumo [5], una industria que converge con las telecomunicaciones en el área de “dispositivos de red” (debido, esencialmente, a los resultados de los países escandinavos). En líneas generales, en la era de la post-liberalización, las operadoras y el negocio de telecomunicaciones europeos y los fabricantes de equipos para el consumidor manifiestan unos resultados en I+D parecidos y, en algunos casos mejores, en comparación con las empresas de EEUU Y esto no sólo es aplicable al caso AT&T, que en 6 años, desde 1995 hasta 2001, ha reducido sus gastos en I+D a razón de un 50%. Por supuesto, el declive de la I+D de AT&T está relacionado con una caída de los ingresos y refleja el incremento de Internet en el negocio de las comunicaciones (siendo Cisco el mayor beneficiario de ello), pero es cierto que la UE resiste bien en la tendencia de la post-liberalización de reducir la inversión en I+D. EEUU tiene una clara ventaja en innovación debido a Internet; la industria de las Tecnologías de la Información (TI) de EEUU produce un exceso de aplicaciones que introducen un nuevo requerimiento de mejores resultados y redes ubicuas, pero la inversión en infraestructura de red no siempre va al mismo paso.

Los resultados relativos de la industria de las telecomunicaciones de la UE no escapan al análisis de los creadores de políticas estadounidenses. La influyente CSTB (Computer Science and Telecommunications Board o Consejo de Informática y Telecomunicaciones) de la US National Academy of Science (Academia Nacional de Ciencias de EE.UU) resume la situación de la industria de las telecomunicaciones en EEUU como sigue: *“El cambio en los laboratorios industriales, el bajón general en el negocio de los operadores de telecomunicaciones y de venta de equipos y las inversiones debilitadas han alimentado las preocupaciones sobre el sector de las telecomunicaciones. Un asunto crítico es el de si EEUU está hoy invirtiendo demasiado poco en investigación en las telecomunicaciones, especialmente en la investigación a largo plazo, de carácter pre-competitivo, que está asociada a la innovación sostenida y proporciona la base para los productos y servicios futuros”* [11].

Visto desde el extranjero, la base I+D europea en telecomunicaciones no es algo que debe ignorarse: *“Aunque la investigación industrial en Europa se ha visto afectada por una parte de las mismas presiones que en EEUU, los laboratorios de investigación industrial en Europa parecen gozar de una buena salud comparativamente y han conservado un fondo de talento de alta calidad. Los grandes laboratorios de investigación asociados con operadores incluyen los de British Telecom (BTexACT), Deutsche Telecom (T-Nova) y France Telecom (France Telecom R&D). Las iniciativas de investigación de los grandes vendedores de equipos incluyen las de Nokia, Ericsson, Phillips, Alcatel y Siemens. Las empresas estadounidenses también tienen una fuerte presencia en I+D en Europa, tal es el caso de IBM Zurich y el laboratorio de Motorota cerca de París”* [ibidem]. También se reconoce la inversión pública europea: *“Varias iniciativas están proporcionando fondos gubernamentales y fomentando un entorno más colaborativo (industria-industria e industria-universidad) para la investigación en las telecomunicaciones enfocada a 5 o 10 años vista. Estos esfuerzos se ven apoyados por una mezcla diversa de apoyo gubernamental directo y fondos de la industria – derivados en ocasiones de circunstancias de monopolio o cuasi-monopolio... El Sexto Programa Marco de investigación de la Unión Europea – que se añade al trabajo realizado con el Cuarto Programa Marco para el apoyo a tecnología 3G inalámbrica y el Quinto Programa Marco para el apoyo a aplicaciones 3G– continúan con su ayuda a la investigación en telecomunicaciones pre-competitiva. Adicionalmente la mayoría de los países miembros de la UE tienen sus propios programas de investigación en telecomunicaciones”*⁵. [ibidem].

Aunque la UE está teniendo unos resultados relativamente buenos, una evaluación de su posición futura en este sector debería suscitar ciertas preocupaciones. De hecho, cualquiera que sea el desarrollo actual de Europa en comunicaciones, ya es peor en comparación con los días dorados de las redes de *conmutación de circuitos*. En la era de Internet, las redes de comunicaciones escapan al concepto de “telecomunicaciones”, para convertirse en algo más y más heterogéneo y complejo, que necesita ser “evolutivo” innovando a través de nuevas ideas de redes que interactúan con el *mundo feliz* de las “aplicaciones introducidas desde fuera de la red” (un área en la que Europa no ha asumido el liderazgo) e incorporando nuevas ramas en proceso de expansión (i.e. redes móviles, inalámbricas, de sensores móviles) de una manera completamente fluida. ¿Tiene Europa el instrumento adecuado para responder a estos retos? ¿Podría su situación actual en comunicaciones sufrir un declive en el futuro según el paradigma de Internet siga adelante? Aún más preocupaciones sobre el futuro de las comunicaciones en la UE provienen de las -en comparación con EEUU- reducidas inversiones en investigación

⁵ Dada la importancia del asunto, la CSTB ha convocado un comité de expertos para evaluar la pregunta de si EEUU está invirtiendo demasiado poco en investigación en telecomunicaciones actualmente, especialmente en I+D a largo plazo, que está “asociado a la innovación sostenida y proporciona la base para productos y servicios futuros” (no se ha terminado aún este proyecto).

y bajos resultados en innovación en el sector global de las TIC, como mencionan G. Dosi et al. [5]. Todos esos factores deberían ser considerados cuidadosamente al pensar en la posición de Europa en el futuro y puede requerir una política de comunicaciones más activa, que, entre otras cosas, pueda sostener un programa marco que detecte desarrollos tecnológicos perturbadores en la rama de la Investigación a Largo Plazo (LTR, Long-Term Research en el inglés original). Muchos parecen creer que por ahora esta rama no está teniendo un buen rendimiento. ¿Cuál es exactamente el problema?.

2.2 Actividades de investigación de la UE en Comunicaciones

Las tecnologías y redes de comunicación son una “gama de productos” dentro de los resultados de una vasta inversión en I+D, en los que, al menos en lo que respecta a números globales, Europa se queda por detrás de EEUU: el gasto total (privado y público) de EEUU en I+D relacionado con las TIC en 2002 alcanzó los 309 billones de Euros, en comparación con los 182 billones de Euros gastados en la UE. A pesar de estas diferencias, la inversión en los países de la UE en I+D dentro de las TIC no es pequeña y aún debería aumentarse en los próximos años: la Comisión Europea tiene como objetivo impulsar, antes de 2010, los gastos en I+D a un 3% del PIB de la UE (frente al 2% actual). Una parte de estas inversiones viene de la propia UE, a través de sucesivos Programas Marco. La estructura y la forma de operar de la investigación englobada en los Programas Marco están bien descritas en un informe paralelo sobre Tecnología de la Información (TI)⁶.

2.2.1 Perspectiva tecnológica

Dentro de los temas de investigación de los Programas Marco, las tecnologías y redes de comunicación suponen un conjunto inequívoco y de creciente importancia. La gama de actividades de investigación en este campo, denominado formalmente “Tecnologías y redes de comunicación”⁷, cubre las áreas siguientes:

- Nuevas tecnologías de redes de comunicación y nuevos sistemas para la provisión de servicios personalizados para cualquier persona, en cualquier momento, en cualquier lugar.
- Redes audiovisuales extremo-a-extremo (más conocidas como “end-to-end”) y aplicaciones para el procesamiento y entrega de materiales audiovisuales, incluyendo la difusión y los sistemas domésticos.
- Actividades y políticas de apoyo en el campo de las Tecnologías de Software para fomentar la adquisición de conocimiento y estimular la innovación, y para promover una competitividad global de la industria europea en software y servicios.
- Tecnologías y procesos con perspectiva de abordar con éxito los retos de seguridad que presenta el mundo digital.
- Formas innovadoras de e-Business.

⁶ Ver el informe de W. Bibel sobre Tecnología de la Información (TI).

⁷ INFISO/UnitD. Ver: http://www.cordis.lu/ist/directorate_d/index.html. En particular: UnitD1 (Tecnologías de la Comunicación): <http://www.cordis.lu/ist/ct/index.html>

Dos visiones de alto nivel dirigen el trabajo de investigación: Inteligencia Ambiental (AmI, Ambient Intelligence)⁸ e Internet de Nueva Generación (NGI, Next Generation Internet)⁹. El concepto NGI proporciona un marco para la evolución de las redes, mientras que la AmI aspira a ser una visión antropocéntrica y aceptada por toda la industria del desarrollo tecnológico enfocada a generaciones tecnológicas futuras en las que dispositivos, interfaces, aplicaciones y redes estarán más integrados en el entorno diario, a través de interacciones fluidas. El objetivo ulterior es desarrollar y convertir en accesible la multitud de servicios multimedia, de banda ancha y de tipo “en cualquier momento, en cualquier lugar” disponibles [12].

Este instrumento cuenta con dos estructuras particulares orientadas hacia una investigación a más largo plazo y de mayor riesgo (que, por supuesto, cubre asuntos más amplios que los de las tecnologías y redes de comunicación en sí): el programa FET¹⁰ (cabe destacar en especial la reciente iniciativa sobre “Situating and Autonomic Communications”¹¹) y el Programa NEST¹².

⁸ AmI: “La Inteligencia Ambiental permite a los servicios de la Sociedad de la Información estar disponibles para cualquier persona, en cualquier lugar, en cualquier momento, usando diversos dispositivos. La visión [ver sugerencias en esta misma página] es la de una Sociedad de la Información que resulte más cómoda para el usuario, más eficiente, que potencie las capacidades de los usuarios y dé soporte a las interacciones entre humanos. Las personas estarán rodeadas de interfaces fáciles de usar empotradas en toda clase de objetos y der un entorno diario que reconocerá y responderá a los individuos de una manera fluida, no intrusiva, invisible. Crear el Mundo de la Inteligencia Ambiental (AmI) es actualmente el principal objetivo de la investigación de las TSI en la UE. Si bien no es la panacea para todos los problemas sociales, sí representa un nuevo paradigma para la forma en que las personas pueden trabajar y vivir. Al embeber las TSI en el tejido mismo de la sociedad, la AmI busca potenciar a cada individuo – mejorando su participación en la sociedad, en comunidades sociales y de negocios y gestionando todos los aspectos de su vida, desde el entretenimiento hasta el gobierno. Es probable que resulten de esto transformaciones sociales radicales”. (http://europa.eu.int/information_society/policy/ambienti/index_en.htm).

⁹ NGI: “La web y el correo electrónico son sólo dos de las aplicaciones que pueden encontrarse en Internet. Hay más en camino y el dominio europeo sobre ellas será esencial si Europa quiere cosechar los beneficios de la Sociedad de la Información. La futura Internet tendrá un papel crucial en el desarrollo de la visión de la UE de la Inteligencia Ambiental, en la que los servicios de la Sociedad de la Información estén disponibles a través de interfaces intuitivas para cualquiera, en cualquier lugar. La Internet del mañana será por lo tanto: I) más rápida (de banda ancha) y más segura, dos prioridades de cara a políticas de eEurope 2005; II) disponible en todas partes, en más plataformas: hacer los servicios de de la Sociedad de la Información más accesibles para más gente significa liberarlos de “la tiranía del PC”. En una aproximación “multiplataforma”, tanto los dispositivos móviles para Internet como la televisión digital podrían tener papeles clave; III) más inteligente: aunque la Internet de hoy es buena para transportar datos, no tiene inteligencia inherente – no entiende los datos que transporta. La web semántica cambiará todo eso; iv) más potente: el programa de investigación de TSI también está ayudando a Europa a construir Grids, que revolucionarán la informática tan profundamente como el correo electrónico y la web revolucionaron la comunicación y la publicación; v) potenciada por IPv6. IPv6 es una tecnología clave para la Internet de Nueva Generación. Desplegarla tan rápida y extensamente como sea posible es esencial para conseguir los objetivos anteriores”. (http://europa.eu.int/information_society/policy/nextweb/index_en.htm).

¹⁰ <http://www.cordis.lu/ist/fet>

¹¹ <http://www.cordis.lu/ist/fet/comms.htm>

¹² <http://www.cordis.lu/fp6/nest.htm>

2.2.2 Políticas respuesta de la UE

Desde una perspectiva política, estas iniciativas tecnológicas se adhieren a un conjunto de políticas globales de las TIC definidas como sigue por P. Johnston (CE) en densísima presentación en la conferencia EuroCPR 2004 [13]:

- Política industrial para consolidar el sector europeo de las TIC para un único mercado y como un sector privado competitivo globalmente, en vez de como monopolios públicos o “campeones nacionales”.
- Políticas de bienestar del consumidor que proporcionen una gama más amplia de servicios de comunicación más asequibles para todos los europeos.
- Políticas para un crecimiento económico sostenido que estimule la innovación en todos los ámbitos de la economía, incluyendo la provisión de servicios públicos.

El grado de éxito de estas políticas y la eficacia del I+D que surja de estos contextos son asuntos interesantes, pero no entran exactamente dentro de los temas que ocupan este informe. Hoy en día hay un aire de pesimismo con respecto a la actuación global de la UE. Sin embargo, no es descabellado aceptar que debido a las subvenciones para I+D, Europa se encuentra ahora dotada de un conjunto de mecanismos institucionales para políticas de las TIC y ha sostenido un entorno colaborativo de investigación entre empresas y entre instituciones académicas y empresas. Con respecto a los temas de comunicación, P. Johnston tiene razón al observar que las políticas de la UE han tenido éxito en habilitar una estructura de industria más consolidada y que *“la consolidación y la competencia han conseguido economías de escala y de alcance, con la posterior reducción de precio para los consumidores y una gama más amplia de servicios disponibles para más gente”* [ibidem]. Sin embargo, persisten varias dudas con respecto a la capacidad de este dispositivo de “disparar” la innovación, y muchas de ellas se plantean ahora en la comunidad política de investigación en las comunicaciones. Desde la última Conferencia EuroCPR, se ha establecido públicamente una fértil discusión a este respecto (ver el siguiente Cuadro).

CUADRO 1 *Un debate sobre políticas en la EuroCPR*¹³

Contradicción, Confusión y Arrogancia: Un estudio crítico de la política de la Sociedad de la Información europea, por N. Garnham: "...Los problemas con la política de la sociedad de la información y la investigación relacionada con ella son, en primer lugar, que está basada en un análisis defectuoso de las dificultades subyacentes ante las que se encuentra la UE, en términos de competencia con EEUU. En segundo lugar, incluso si aceptamos el análisis subyacente y el objetivo de Lisboa, no existe evidencia de que en realidad tengamos los instrumentos políticos que puedan producir el efecto deseado. En tercer lugar, esto es en parte porque las teorías y modelos que subyacen a la formulación e implementación de políticas son mucho más controvertidos, parciales, dudosos y contradictorios de lo que tanto teóricos como creadores de políticas están dispuestos a admitir. Y esto es en buena parte, como Bauer ha enfatizado, porque lo que los teóricos en todo el mundo están intentando entender, y los políticos dirigir, es inherentemente más complejo de lo que tanto investigadores como políticos se sienten cómodos en admitir. Esto, entonces, me lleva a mi conclusión final de que debemos tomar todos esos grandiosos planes, teorías y visiones con una buena dosis de escepticismo. Debo hacer hincapié en que esto no es un argumento en contra de la intervención pública y a favor de dejar al mercado funcionar solo, aunque algunas versiones se han usado con tal fin. El mesianismo del mercado está sujeto a la misma crítica. Sabemos que hay mercados de distintos tipos, que son turbias mezclas de acciones privadas y reglas e instituciones públicas y que tienen unos resultados extremadamente imprevisibles. Ahora el mensaje es que tanto investigadores como políticos necesitan ser mucho más humildes. No podemos, pienso yo, evitar políticas e intervenciones de regulación. Ninguna sociedad ni grupo social puede subsistir desorganizado hasta ese extremo. Lo mejor a lo que podemos aspirar es a intervenciones turbias a corto plazo en áreas específicas para resolver problemas específicos. No hay respuestas o reglas generales y los resultados de la intervención serán probablemente muy distintos a lo que se había planeado".

Intereses estratégicos en las Sociedades de la Información, por R. Mansell (LSE): "... En su discurso, Nicholas Garnham reconoce que las 'políticas estuvieron guiadas por una variedad de intereses diferentes con diferentes definiciones del problema, diferentes objetivos y diferentes teorías y modelos económicos que los apoyaban', y aun así también afirmaba que los políticos 'quieren complacer a todo el mundo'. Como académico con un enorme dominio de la historia de la economía europea y de los factores determinantes para la innovación y la competitividad, no resulta sorprendente que Nicholas Garnham quisiera que la comunidad de investigadores aclarase intereses, problemas y objetivos específicos y su alineamiento con respecto a distintos modelos y teorías económicas. ¿Acaso es de extrañar que haya contradicciones entre iniciativas de políticas industriales y el impulso de liberalizar mercados y estimular la competencia en el sector de las TIC, dada la colección de intereses económicos en juego en Europa? Distintos intereses pertenecientes a círculos económicos están claramente en condiciones de ganar según distintas aproximaciones a la política de la sociedad de la información. Sin embargo, cuando se trata de los procesos colectivos de gobierno dentro de los cuales operan los políticos, Nicholas Garnham parece perder de vista -al menos en este discurso- los intereses altamente diferenciados de los propios creadores de políticas - intereses que, si bien son ciertamente contradictorios, no llegan al punto de complacer 'a todo el mundo' cuando 'todo el mundo' incluye también a los ciudadanos además de las empresas e instituciones reguladoras. Las contradicciones entre los intereses de aquellos que abogan por los intereses industriales y aquellos que apoyan el refuerzo de la competencia en el mercado no son de extrañar, pero tampoco lo es la tendencia de los creadores de políticas a perder de vista los intereses de los ciudadanos en favor de otros intereses..."

Vasos Medio Llenos y Medio Vacíos, por W. Steinmueller (Universidad de Sussex / SPRU): "... La economía basada en el conocimiento y la sociedad de la información son conceptos vinculados de manera inextricable, en los cuales las herramientas proporcionadas por tecnologías avanzadas de la comunicación y la informática son de vital importancia para satisfacer las aspiraciones humanas. El problema es que, como en todo esfuerzo humano, las aspiraciones de los participantes entran en conflicto entre sí. A diferencia de los objetivos tradicionales de la administración y gestión pública, las políticas de la sociedad de la información son desequilibradas y están poco desarrolladas. Las voces del lado del suministro han dominado la conversación demasiado tiempo, hasta el punto de acallar otras voces e incluso de empujarlas hacia una especie de "clandestinidad" cuya manifestación más visible es el movimiento del software libre y código abierto en Europa y otros países. Como apuntaba Eli Noam hace algunos años, las redes tienen su Política. Muchas de las insuficiencias de los marcos de políticas actuales son la consecuencia del fracaso de romper con la política del pasado. El apoyo a las grandes empresas prolongó y agudizó el proceso de reajuste y reestructuración. El adherirse y apoyar a los nuevos competidores 'insurgentes' schumpeterianos probablemente sea igual de perjudicial. El restablecer los conceptos de 'usuario' y 'bienestar social' en el centro de atención será de mucha ayuda a la hora de tratar las brechas que Nicholas Graham identifica correctamente".

¹³ Los documentos completos se encuentran disponibles en el sitio web de ERCIM:
<http://www.encip.org/granham.php>

¿Son las políticas industriales irrelevantes u obsoletas?, por A. Henten (Universidad Técnica de Dinamarca / Centro de Tele-Información): "... Una lectura de la conferencia de Nicholas Garnham deja la impresión l mayor problema, a día de hoy, está en las políticas industriales -el colbertismo de las políticas de la Unión Europea, como él lo llama. Hace hincapié en más de una ocasión en su conferencia en el hecho de que hay también problemas involucrados en los modelos de mercado y la competencia promovida en estos últimos años y en la confianza en dejar que gobierne el mercado. Sin embargo, el mayor foco de atención de su preocupación está en el lado de las políticas industriales. Y esto puede estar justificado en el sentido de que las políticas industriales han recibido el mayor énfasis de entre las políticas recientes de la UE. Después del gran paso hacia la liberalización de las telecomunicaciones y la introducción de competencia en ellas, hay mucha atención puesta en las políticas de la UE en el desarrollo del acceso de banda ancha y los servicios que requieren capacidad de banda ancha (la estrategia de Lisboa). A Nicholas Garnham le preocupa que dichas políticas industriales puedan ser innecesarias y probablemente incluso erróneas y una pérdida de dinero público, si están involucrados distintos tipos de apoyo económico. La razón, según él, es que entendemos la compleja realidad de una manera muy simplificada. Un punto de vista alternativo podría ser que la intervención del Estado en distintos tipos de políticas industriales es necesaria para apoyar a los mercados y hacerlos funcionar de la mejor manera posible. Según este punto de vista, la intervención estatal no puede estar limitada a meras medidas de regulación, sino que debe abarcar las iniciativas de políticas industriales tanto en el lado de la oferta como en el de la demanda. Los riesgos de este punto de vista son obvios. Antiguamente muchas políticas industriales recibían críticas por apoyar industrias moribundas basándose en presiones provenientes de alianzas frecuentemente poco claras entre los dueños y los empleados. Dichas políticas industriales aún existen, pero están siendo suplantadas por políticas que apoyan nuevas áreas de la industria como la biotecnología, nanotecnología y las TIC. Pero incluso aquí hay un gran riesgo en 'elegir ganadores', puesto que los ganadores elegidos pueden ser superados tarde o temprano por ganadores similares en otros países, reproduciendo las mismas prioridades industriales. E incluso en una situación en la que la elección fuera 'correcta' en el sentido de que se consiga un desarrollo industrial de éxito, se podría cuestionar la necesidad de apoyar el desarrollo industrial con dinero público que podría haber ido, por ejemplo, a programas sociales. Sin embargo, a pesar de estas objeciones razonables, puede que aún exista la necesidad de políticas industriales que -sea del lado de la oferta o de la demanda- apoyen industrias venideras. Los análisis de los éxitos en el ámbito del desarrollo industrial en todo el mundo identifican a menudo como uno de sus factores principales la intervención estatal a través de iniciativas políticas en la industria..."

Esta discusión sobre el desarrollo de las políticas para la Sociedad de la Información de la UE es de gran interés, pero este informe trata únicamente la investigación en tecnologías y redes de comunicación. Mientras que la comunidad de dirigentes de la investigación debate a alto nivel y quiere establecer procesos para "aprender de los errores" y así mejorar las políticas de la UE, otros investigadores llaman la atención sobre un "error" distinto: la creciente importancia atribuida, durante estos últimos años, a la "utilidad demostrable" de la investigación, que finalmente actúa en detrimento tanto de la investigación básica como de la capacidad de innovación. El tema ha sido discutido en talleres y conferencias y planteado en varios informes de expertos, entre ellos el informe de G. Dosi et al. [5] sobre la debilidad europea en innovación como resultado de haber sopesado equivocadamente las opciones de investigación. Ya hace unos años, K. Pavitt hizo sonar la alarma al explicar que las prácticas de EEUU en investigación básica, consideradas como un ejemplo a imitar, *"con frecuencia se ha tenido la impresión equivocada de que estaban impulsadas por una utilidad a corto plazo, mientras que en realidad sus características claves son subvenciones gubernamentales cuantiosas y plurales, una alta calidad académica y la capacidad de invertir en desarrollo a largo plazo de campos (con frecuencia) interdisciplinarios"* [14].

Esta extraña situación ha sido reconocida por la CE, que ahora reconoce que en el proyecto de creación de un Espacio Europeo de Investigación (o ERA: European Research Area) hay una cierta deficiencia a la hora de tomar explícitamente en consideración el tema de la investigación básica¹⁴. Pero posiblemente las consecuencias de “haber reducido” la investigación básica aún no se comprendan bien. La alta prioridad dada por la política de investigación de la UE a tecnologías y servicios “definidos por el usuario” y a tecnologías “con aplicación” puede haber tenido más productividad a partir del concepto de “mejorar sobre lo existente” que del de “diseñar y ser rompedor”. Evidentemente estas políticas de cara a la investigación, que encajan las TSI dentro de la aplicación, han sido pensadas dentro del contexto de un esfuerzo por alejarse de ofertas “anticuadas” de servicios muy orientadas al tirón tecnológico, pero ahora ciertamente han llegado a su límite. El proyecto FISTERA¹⁵ parece detectar el problema. El documento de resumen del proyecto vincula explícitamente la necesidad de “investigación pura” y la aptitud para “ser capaces de detectar tecnologías potencialmente disruptivas” [6].

La investigación básica o “pura” se supone situada en una perspectiva a largo plazo, en el sentido de que, en un “contexto de aplicaciones”, las soluciones tecnológicas que posibilitará son imprevisibles y, de hacerse realidad, ampliarán las fronteras tecnológicas y, por supuesto, crearán nuevas oportunidades. Para entender la importancia de la investigación a largo plazo en los sectores de tecnología punta, podemos observar, por ejemplo, lo que ocurre actualmente en el área de las redes inalámbricas. La UE invierte la mayor parte de su esfuerzo investigador en la “monocultura” de las tecnologías 3G/4G (la extensión “lineal” de la ola tecnológica de GSM), desde un punto de vista muy acorde con Lisboa de redes heterogéneas de acceso de banda ancha ubicuo que permitan dar servicios multimedia inalámbricos. Esta perspectiva parece entender las tecnologías Wi-Fi, i.e. las ofertas tecnológicas en el hogar, la empresa, el campus universitario, etc.; la posibilidad de crear redes de área local sencillamente como una arquitectura alternativa sobre la cual proporcionar servicios y aplicaciones con fluidez. Esto no está mal y sin duda ocurrirá. Pero puede que Europa no consiga entender cuál puede ser la contribución de la “producción colaborativa basada en bienes comunes”¹⁶ a la organización de las redes inalámbricas...

¹⁴ Ver: EC, Communication from the Commission, Europe and Basic Research, COM(2004) 9 final.

¹⁵ Ver: nota al pie de página 3.

¹⁶ Definida inicialmente por L. Lessig [15] como la “parte de nuestro mundo que todos disfrutamos sin el permiso de nadie” que constituye el “núcleo de la sociedad abierta”, los “bienes comunes” o “commons” se han establecido rápidamente como un nuevo concepto en la literatura de las ciencias de la organización. En vista de la creciente contribución al asunto, el término parece ahora definir un modelo de producción colaborativa basada en redes sociales, en el que la compartición entre participantes débilmente conectados (i.e. recolectando un gran número de pequeñas contribuciones a pequeña escala para conseguir una funcionalidad real) crean, en algunos casos, la base de un sistema eficiente para destinar recursos [16]. El software “open source” (o de código abierto), la compartición de canciones, informática distribuida, la enciclopedia online Wikipedia, escrita por voluntarios, y otras formas de producción real social ofrecen claros ejemplos de cómo la compartición de recursos a gran escala se impone como una práctica organizativa eficiente.

En EEUU, los investigadores ahora subvencionados por DARPA¹⁷, experimentan con soluciones bastante “más allá de la frontera”, que podrían ser aplicables años más tarde, y vuelven a menudo a la “resolución de problemas” de vanguardia (encontrando un compromiso entre ancho de banda y potencia con el reto que supone la recepción en términos de “interferencia” – esa propiedad de las ondas radio que en el pasado ha justificado un método de asignación de espectro basado en bloques de frecuencias funcionalmente separados y que durante mucho tiempo hemos considerado un factor imposible de vencer). Evidentemente hablamos aquí desde una perspectiva de investigación a largo plazo que prevé la exploración de comportamientos *basados en bienes comunes (commons)* o colaborativos, en un mundo de *espectro sin licencia* y que diseña arquitecturas ágiles y colaborativas para redes que, en un contraste flagrante con el modus operandi de sistemas, aumenta su capacidad con la densidad geográfica de usuarios. En Europa, una gran parte del desarrollo tecnológico, condición previa para dicha evolución, parece existir ya (las llamadas tecnologías “SDR”¹⁸ y “sistemas de transmisión de banda ultra ancha: UWB, Ultra Wideband), mientras que las TSI aún no han mostrado ni un “clúster” de actividades¹⁹). Pero la contribución de la UE al debate sobre “Wireless Commons” se reduce únicamente a opiniones sobre regulación. Los experimentos inalámbricos con nuevas perspectivas para las arquitecturas son muy dispersos y, ciertamente, les faltará cualquier tipo de aporte interdisciplinar. Tal vez sea porque no existe una agencia de investigación a largo plazo que cree un marco para la investigación en arquitecturas inalámbricas abiertas²⁰...

¹⁷ Ver infra.

¹⁸ Ver: Workshop sobre “Redes y transmisión radio cognitivas”, organizada por Dagstuhl (<http://www.dagstuhl.de/About/index.en.html>).

¹⁹ Ver: <http://www.cordis.lu/ist/ka4/mobile/proclu/c/uwb/uwb.htm>

²⁰ En contraste con lo que se afirma en nuestro informe sobre el resultado de tecnologías inalámbricas, merece la pena destacar el éxito de la investigación europea en otra área importante para la investigación de redes colaborativas: las arquitecturas Grid. Un estudio comparativo de los dos casos sería muy productivo de cara a aprender más sobre cómo Europa debería desarrollar capacidades para controlar la complejidad en la arquitectura de las redes actuales.

2.3 La necesidad de la UE de establecer prioridades de investigación efectivas a largo plazo en el ámbito de las comunicaciones

En esencia, la necesidad de investigación básica viene de la naturaleza compleja de las redes de comunicaciones modernas y de la reorganización de la propia industria tras la introducción de la liberalización y la competencia. Lo que es característico en las redes de comunicación modernas, como en muchos otros sistemas complejos, es la heterogeneidad extrema de las partes y sus patrones organizativos, que involucran varias jerarquías y múltiples escalas y que dan como resultado un alto desarrollo y robustez debido a esta complejidad en su organización.

La clave para poder gestionar sistemas complejos requiere sobrellevar esta extrema variedad, tal y como apunta inteligentemente un informe publicado desde la comunidad de Tecnologías Futuras y Emergentes (FET), que quiere promover la aplicación de aproximaciones de Sistemas Complejos a problemas de complejidad de sistemas a los que debe enfrentarse la industria actualmente [17]. Parte de esta “diversidad de gestión” está integrada en las arquitecturas²¹ que implementan estructuras internas muy específicas, las cuales habitualmente involucran cierta coordinación, que se obtiene mediante arreglos para la interconexión de partes internas²², también definida como “coordinación mediante diseño”, entendido como un sistema de coordinación con reglas “integradas” en la propia tecnología. Pero más allá del diseño, la coordinación también es una solución colaborativa que surge de la interacción de organizaciones que operan y usan estas redes. Estas organizaciones, citando a un pensador experimentado de la complejidad en sistemas de información²³, responden a multitud de intereses económicos distintos “dentro de relaciones variables de colaboración y competencia entre ellas”. Esto sugiere que las herramientas y el conocimiento para la comprensión y gestión de esta coordinación emergente deberían venir de la investigación teórica. Hay varias teorías que han estado tratando estos últimos años el problema de la formación,

²¹ Como apuntan C. Baldwin y K. Clark [16], los sistemas grandes y complejos requieren arquitecturas de diseño. Una arquitectura de diseño divide un sistema en partes e interfaces de set-up entre ellas para permitir una conversación eficiente entre ellas y una construcción y desarrollo modulares. Análogamente, las arquitecturas de redes de comunicación proporcionan un “modelo de referencia”, un conjunto de principios de organización abstractos y de relaciones de estructuración entre los componentes de red, que guían el diseño técnico de la red, especialmente la ingeniería de sus protocolos y algoritmos [17]. Las arquitecturas se consideran cada vez más marcos muy valiosos mediante los cuales “el conocimiento puede llegar a organizarse para crear riqueza y bienestar en la economía moderna” [18], por lo que adquieren una importancia en la investigación de la economía del conocimiento.

²² Para una descripción convincente de cómo “la complejidad importa” en grandes sistemas técnicos, ver el trabajo de J. Carlson y J. Doyle ver referencia [20] e infra.

²³ C. Papadimitriou de la Universidad de Berkeley; ver referencia [21].

evolución y coordinación de redes y se han dado a llamar *teorías de investigación de redes* o, simplemente, *teorías de redes* (un término que abarca varias aproximaciones, desde la de teoría de juegos hasta física estadística).

Por razones prácticas, las arquitecturas de red y las teorías y modelos de red, así como el enfoque interdisciplinar que suelen requerir y muchos otros aspectos de las redes futuras, no están en el horizonte inmediato de la investigación que se realiza en las industrias de las comunicaciones o en el contexto de la investigación colaborativa “pre-competitiva”. En el pasado una buena parte de la investigación de este tipo, que produce conocimiento nuevo y fundamental, se realizaba dentro de los laboratorios de investigación de los operadores de telecomunicaciones. Cuando estos operadores fueron privatizados a finales de los 90, los laboratorios fueron “reducidos” y el nivel de investigación en general disminuyó. Además, la atención se desplazó un tanto de las tecnologías hacia la investigación de tecnologías con aplicación y soluciones de red a medida [11]. De hecho, la liberalización ha acelerado la tendencia hacia una situación en que la investigación a largo plazo más genuina se ubique dentro de las instalaciones de los fabricantes de equipos (Ericsson, Lucent, Nortel y Nokia son los más dinámicos en actividades de investigación), mientras que los operadores de telecomunicaciones están más involucrados con el desarrollo tecnológico a más corto plazo [10]. Sin embargo, ambas están interesadas esencialmente en el diseño de nuevos servicios y en el desarrollo de infraestructuras de servicios, lo cual ciertamente se acometería en colaboración directa con los usuarios. Motivados por los imperativos financieros, también ponen especial énfasis en los caminos de migración hacia nuevas infraestructuras que permiten esta oferta de servicios innovadores. ¿Cómo es posible, por tanto, involucrarse en investigación con fines inciertos cuando la motivación con respecto al desarrollo de servicios y a modelos de negocio que dan soporte a esos servicios requiere una atención sistemática y disciplina financiera? Lo mismo se puede aplicar a la investigación “pre-competitiva” de la UE. No puede evitar seguir de alguna forma estas tendencias hacia nuevas infraestructuras de servicios, si el objetivo es estimular, mediante la investigación, no sólo la innovación en toda la economía, sino también la competitividad de los proveedores de equipos europeos (y de sus complejas cadenas de distribución), que deberían operar con eficiencia como multinacionales de mercados cada vez más globalizados.

Esto podría implicar la necesidad de un nuevo polo de investigación, relativamente independiente de las estrategias de negocio a corto plazo, que pueda cultivar una visión de gran impacto y alto riesgo²⁴ y llevar a cabo actividades de “investigación abierta” que completen aquellas ya emprendidas en el contexto de la investigación colaborativa pre-competitiva. En EEUU existe DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency (Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa) y, hasta

²⁴ Usando los términos adecuados del documento resumen del proyecto FISTERA, que también pide una reevaluación del equilibrio entre investigación de bajo riesgo, guiada por el mercado y la investigación de alto riesgo y gran impacto [6].

cierto punto, la NSF, National Science Foundation (Fundación Nacional de Ciencia). Para organizar la investigación en esa dirección, a menudo no ligada directamente a las necesidades del ejército o la industria²⁵. La investigación de esta naturaleza puede contribuir a la resolución de problemas de redes de especial “interés público”, derivados de la complejidad de múltiples niveles de Internet, y para dilucidar la compleja estructura y organización del mundo digital emergente. Se supone que proporciona una “base de comprensión” y, al mismo tiempo, tal y como explica R. Nelson, puede aplicarse en la resolución de “tipos particulares de problemas prácticos y en el avance de áreas importantes de tecnología aplicada” [23]. Muy probablemente, esta investigación a largo plazo en comunicaciones, que lleva a una “base de conocimiento”, reflejándose en la “base de aplicación”, debería “disminuir la tendencia hacia una creciente apropiación”²⁶, pero debería ser también eficaz²⁷ a la hora de:

- Reconocer y seleccionar áreas de investigación estratégica “repletas de problemas abiertos”, con gran impacto en la evolución de las tecnologías de la comunicación y de red.
- Usar una mezcla de perspectivas distintas, desde las básicas a las de investigación aplicada de alto nivel e ingeniería de sistemas – y pedir un apoyo interdisciplinar sólido.
- Tratar los asuntos de políticas relevantes necesarios para estimular la transferencia de energía de la investigación a la aplicación.

En resumen, el apoyo a prioridades de investigación a largo plazo pero eficaces debería estar justificado en términos de la provisión de un horizonte más amplio, necesario para la innovación “disruptiva” y de facilitar la exploración de cara al futuro – la investigación a largo plazo debe usarse para producir a su vez más investigación o aplicación. Desde esta perspectiva, puede clasificarse como infraestructura que se “consume” en forma de input “abstracto” de una amplia gama de actividades de investigación y aplicación, produciendo así grandes externalidades positivas [23]. Así, debería considerarse tomar un enfoque de *acceso basado en commons*, en el sentido de organizar proactivamente un “espacio público” donde la acción empresarial y las decisiones regulatorias puedan tomar prestadas “abiertamente” los “recursos cognitivos” para producir resultados más eficientes y

²⁵ Sin embargo, varias voces críticas dentro de los EEUU se quejan del deficiente nivel de apoyo a la investigación básica en tecnologías y redes de comunicación. A este respecto, ver especialmente las presentaciones en el “Workshop on Basic Research in Telecommunication” que tuvo lugar en mayo de 2003, organizada por la Universidad de Columbia (Instituto Columbia para la Tele-Información) [22].

²⁶ De acuerdo con el informe de G. Dosi et al. [5].

²⁷ G. Dosi et al. [5] puede que sean sarcásticos con algunos colegas de la investigación “pre-competitiva” que “intentan aprovechar dinero de la comunidad en áreas que son lo suficientemente marginales como para no tener que justificar la inversión de sus propios fondos”, pero no se debería ignorar que los “ideales” de la investigación a largo plazo han justificado con frecuencia, en muchos países europeos, las empresas de investigadores a largo plazo en instituciones de investigación burocráticas y conservadoras financiadas por dinero del Estado.

deseables según cambie la tecnología y crezca el comercio²⁸. En última instancia, este tipo de investigación debería considerarse como un marco de referencia para los ciclos evolutivos de la tecnología, i.e. paradigmas tecno-económicos [24] y, especialmente, la transición de fases más cortas (de 20-30 años de duración cada una) durante cada uno de los ciclos largos, que son: un primer estado de instalación (en el cual la “destrucción creativa” schumpeteriana tiene lugar, de alguna manera) y un segundo estado de despliegue (durante el cual el nuevo paradigma se establece y ofrece al completo su potencial de crecimiento) – separados por un corto periodo de incertidumbre (el llamado “punto de inflexión”).

En la siguiente subsección, volveremos a lo “concreto”, i.e. la complejidad de las redes de comunicaciones modernas, para explicar cómo la capacidad para aprovechar las futuras oportunidades derivadas de “nuevas salidas” dentro del ciclo evolutivo actual²⁹ está condicionada por el nivel de comprensión de las transformaciones múltiples de Internet. Ese entendimiento suele ser lo que la investigación a largo plazo busca. Al mismo tiempo, revisando la evolución de Internet, delimitamos el área que se investiga y empezamos a reconocer áreas clave que se encuentran en el núcleo de la evolución de las tecnologías y redes de comunicación.

²⁸ Un nuevo proyecto en la Universidad de Columbia define ahora “commons” como el conjunto de reglas, pautas y gobierno dentro del cual tienen lugar todos los intercambios (incluyendo los mercados) – lo cual puede ser el marco dentro del cual estudiar la “investigación a largo plazo pero eficaz”. Para más detalles, ver el workshop sobre “The Economics of the Commons: Organizing Private Transactions in Communications”, Instituto Columbia para la Tele-Información, mayo de 2005, <http://www.citi.columbia.edu/>.

Nota: Reconocemos la interesante discusión con A. de Fontenay (Instituto Columbia para la Tele-Información) sobre esta noción más amplia de “bienes comunes” o “commons”.

²⁹ Según Internet evoluciona hacia el periodo de despliegue, es normal esperar innovaciones “arquitectónicas” o “modulares” – siendo estas innovaciones las que potencialmente podrían resultar un mayor avance dentro de los límites definidos por un paradigma tecno-económico actual.

Nota: El término “innovación arquitectónica” se refiere a innovaciones que cambian la arquitectura de un producto (o sistema) pero que dejan los componentes -y los conceptos de diseño principales que éstos plasman- igual; mientras que “innovación modular” (aplicada a nivel de componentes de un producto o sistema) implica reemplazar uno o más conceptos de diseño principales sin cambiar la arquitectura de sistema (o, tarde o temprano, extender esta arquitectura con nuevos componentes basados en nuevos conceptos principales). Ambas aparecen una vez que se ha establecido una trayectoria tecnológica y contrastan con las “innovaciones incrementales”. Este término únicamente describe cambios técnicos “normales” que aparecen como simples mejoras de componentes existentes y de las características de un producto. Para más detalle, ver referencia [25].

2.4 Los fundamentos cognitivos para la investigación a largo plazo: entender la evolución de Internet para superar futuros retos

2.4.1 Un poco de (pre)historia

La investigación en las tecnologías de comunicación viene de los viejos tiempos de la industria de las Telecomunicaciones. Durante muchos años los operadores de telecomunicaciones de EEUU, Europa y Japón han estado invirtiendo de forma masiva en largas investigaciones que necesitaban para desarrollar sus redes – siendo Bell System y AT&T el caldo de cultivo de un monopolio protegido, regulado y muy innovador. Durante muchos años los operadores de telecomunicaciones financiaron la investigación interna, realizada en Laboratorios de Investigación hechos a la medida de los propósitos de I+D (tanto de redes como de equipo) – sirvan como ejemplo Bell Labs de AT&T, CNET de France Telecom, los Laboratorios de Investigación de BT, los Laboratorios de Ingeniería Eléctrica de NTT, etc.- a menudo en colaboración con instituciones académicas selectas con las que contemplaron la posibilidad de relaciones a largo plazo. Es la “era dorada” de la investigación en las comunicaciones (desde la década de 1930 a la de 1970 y 1980). En aquellos tiempos, los investigadores de los laboratorios de investigación de telecomunicaciones disfrutaban de una flexibilidad para la “resolución de problemas” y de recursos para tratar una variedad de temas, desde complejos problemas de teoría de redes hasta nuevas arquitecturas de red y sucesivas generaciones de equipos de red, etc. La lista es larga e incluye hasta las primeras cuestiones “interdisciplinares”, como el estudio de patrones sociales que consolidarían la adopción del servicio telefónico y el diseño de políticas de precios eficaces y óptimas socialmente. Muchas de las innovaciones pioneras que dieron forma a este mundo (desde los transistores a las microondas y el láser) y un abundante conocimiento nuevo (incluyendo mucho de teoría matemática de la información y de ciencias económicas de la organización industrial) ha sido el resultado de la investigación básica llevada a cabo únicamente en Bell Labs [27, 28].

En la era de la post-liberalización, muy poco de estas estructuras de I+D hechas a medida de una organización industrial de monopolio ha permanecido en su sitio [10, 11, 27, 28, 29]. Empezando en los años 70, la investigación en el campo de las tecnologías de la comunicación se ha ido convirtiendo progresivamente en algo “fragmentado” y “comercial”. Primero los operadores de telecomunicaciones se han retirado de la investigación, el diseño y el desarrollo de equipos de telecomunicación, dejando esta actividad a proveedores especializados de tecnología y equipos, como

Lucent, Nortel, Nokia, Ericsson, NEC, Cisco, etc. Hoy las compañías de equipos de telecomunicaciones crecen y compiten sobre la base de la innovación y la diferenciación de productos e invierten considerablemente en actividades de I+D (las inversiones en I+D ascienden a un 10-20% de sus ingresos por ventas). Pero estas inversiones, como se explicó anteriormente, son aplicables al diseño de nuevos servicios y nuevos dispositivos de conexión a la red, capaces de mejorar la eficiencia de los equipos de red centrales (routers, switches, etc.). Por otro lado, los operadores de telecomunicaciones han reducido el nivel de recursos destinados a I+D fundamental a largo plazo, como resultado del cambio en la estructura de la industria (de monopolios a una creciente competencia en los mercados globales), para concentrarse en el desarrollo de negocio y el éxito competitivo mediante I+D comercial (i.e. investigación aplicada, a corto plazo, de “tecnologías habilitadoras” (*enabling technologies*) de aplicaciones. En pocos años los famosos laboratorios de I+D de los operadores de telecomunicaciones sencillamente han desaparecido o traspasado su capacidad a la realización de soluciones de red a medida e I+D orientada al producto. La investigación fundamental en redes, casi un “ideal” para Ingenieros en Telecomunicación, no es exactamente parte de sus principales preocupaciones³⁰.

2.4.2 El impacto de Internet y su evolución: entender la “textura” del cambio tecnológico en curso

La desintegración de la antigua red, que estaba “integrada verticalmente”, para transformarla en una arquitectura de comunicaciones por capas (servicio de red, infraestructura de red, equipo), en la que empresas muy diferentes compiten para conseguir clientes e imponer su presencia a nivel global [29], no fue, sin embargo, la principal fuerza que alteró la estructura y la evolución de la industria. El gran cambio en la esencia de las comunicaciones electrónicas, y en la forma en que investigadores, ingenieros y especialistas en tecnología piensan en problemas y soluciones, viene con las redes de comunicaciones de datos e Internet.

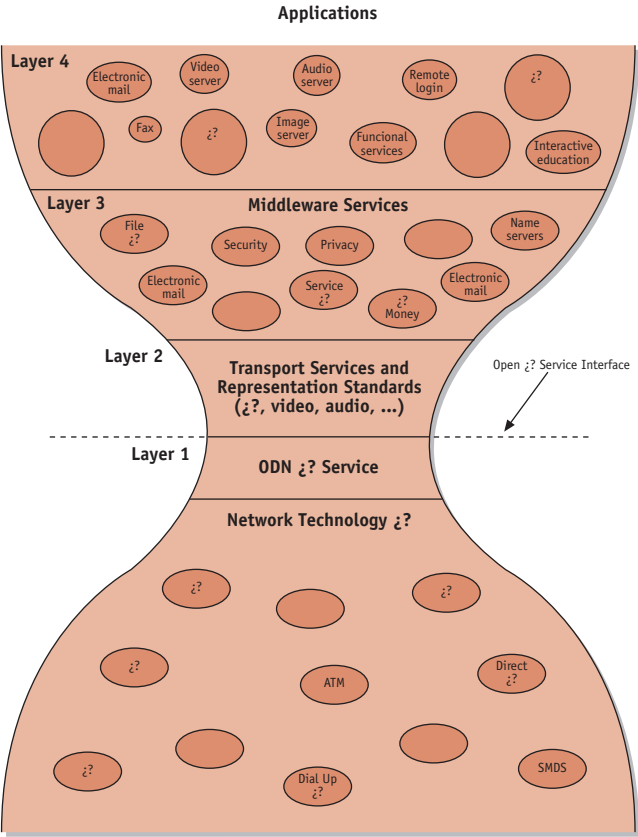
2.4.2.1 La condición inicial: La separación IP

Las tecnologías de la industria de la informática primero permitieron el desarrollo de redes privadas separadas para la transmisión de datos a la sombra de las infraestructuras de operadores de telecomunicaciones más dedicados a voz. Entonces hicieron posible la interconexión progresiva de estas redes a una “red de redes” –

³⁰ Habitualmente se entiende la investigación básica o fundamental en comunicaciones en términos de innovación teórica en ciencias de la información y las telecomunicaciones (transmisión, conmutación, operación y gestión de red, etc.), de la que se espera obtener resultados prácticos en un periodo de 10-20 años. A día de hoy, por supuesto, debería definirse más ampliamente una lista así de temas relacionados con las redes para la investigación básica (ver *infra*).

mediante la adopción masiva de los protocolos de red de Internet (TCP/IP) en todo el entorno de las comunicaciones. En muy poco tiempo, los estándares de Internet se convirtieron en la base sobre la cual se realizaban las nuevas aplicaciones de comunicaciones. Internet alteró profundamente la organización de las infraestructuras de las comunicaciones, en el sentido de haber permitido la separación entre las aplicaciones y servicios y la infraestructura “subyacente” [30, 31, 32]. Esto ocurrió al definir, como muestra la Figura 1, una interfaz (el Protocolo de Internet, IP) hacia los subniveles tecnológicos inferiores y al exportar después esa interfaz para el desarrollo de aplicaciones.

FIGURA 1 *El modelo Open Data Network.*



A partir de esta interfaz se pueden desarrollar un número cualquiera de aplicaciones diferentes, sin obligación alguna a modificar cualquier aspecto de las tecnologías que prevalecen en los niveles inferiores de red. La World Wide Web (WWW) es el primer y más célebre ejemplo de esta generación de aplicaciones imprevistas. Por lo tanto, las aplicaciones no están definidas previamente en el diseño de la arquitectura de red, sino que surgen durante el proceso de evolución de la red, son de “frontera de red” (i.e. que las aplicaciones sean independientes de la red significa que su funcionalidad

está alojada en ordenadores conectados a “desde fuera” de la red). Y las aplicaciones están prosperando. Streaming de vídeo (o vídeo en tiempo real), telefonía IP, aplicaciones para la movilidad y la colaboración, juegos en red, presencia y mensajería instantánea son algunas de las aplicaciones que se han desarrollado independientemente de la tecnología de red subyacente y que interconectan múltiples infraestructuras de red (incluyendo redes móviles).

La dinámica de la proliferación de las nuevas aplicaciones basadas en Internet debe entenderse claramente, puesto que esta proliferación parece ser el factor más crítico del éxito de Internet. En las redes de telecomunicación, las aplicaciones (no muchas, en realidad, esencialmente telefonía y servicios fijos de datos sobre redes de paquetes sobre conmutación de circuitos o conmutación de celdas), estaban estrechamente vinculadas con una infraestructura específica: una infraestructura dedicada, por ejemplo, la red telefónica conmutada (RTC) o las redes de telecomunicación de datos, se empleaban para llevar a cabo aplicaciones distintas: transmisión de voz y de datos respectivamente. En este contexto, los patrones de innovación en las tecnologías de red indicaban el camino del cambio tecnológico en el nivel de aplicaciones y servicios (i.e. las tecnologías de red definían el conjunto de las aplicaciones). Con Internet la industria de las comunicaciones se mueve hacia un “modelo de integración horizontal” (ver Cuadro siguiente), en el cual se desarrollan diversas aplicaciones independientemente de la arquitectura subyacente, obteniendo así una aceleración en el camino de la innovación en la industria de las comunicaciones [33]. En este modelo, el protocolo IP actúa como una especie de traductor lógico: permite un “nivel de cobertura” ubicado sobre los modos de transporte que emparejan aplicaciones (y servicios) con infraestructuras. Las aplicaciones solicitan servicios de red del nivel de cobertura, no de la infraestructura subyacente, y el nivel de cobertura traduce la petición de servicio de red a los protocolos de la infraestructura de la red. Al separar la infraestructura de comunicación en dos bloques, infraestructuras en el bloque inferior, aplicaciones y servicios en el superior (con una mínima funcionalidad ofrecida por el nivel de cobertura IP para hacer que estos dos bloques interactúen), la apertura hacia la innovación (hacia nuevas aplicaciones y nuevos usos) se convirtió en la condición indispensable de facto³¹. Hemos asociado el diseño de Internet con el “modelo de especialización abierto y flexible”, una tendencia más genérica de la evolución de los modos de producción industriales, que incluyen aquellos en los que tanto el conjunto de características variables de diseño como el rango en el que se mueve cada variable son potencialmente infinitos [31]³². Esto explica por qué Internet evoluciona continuamente e integra con éxito nuevas funcionalidades a través de un proceso de coordinación continuo.

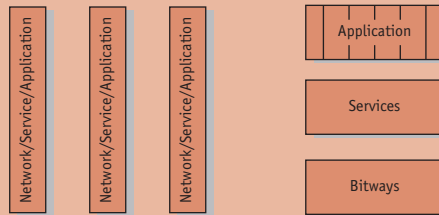
³¹ La estructura de “dos bloques” que se observa en Internet se convirtió en un valioso recurso que podían utilizar los innovadores de aplicaciones, cualquiera que fuera su origen (nota: lo que también ocurre en Internet es que la transparencia del transporte de paquetes permite un despliegue de nuevos protocolos sin la obligación de modificar el “interior” de la red). Debido a esta apertura a la innovación, a nuevas aplicaciones, a nuevos usos, L. Lessig llama a Internet un “bien común para la innovación” [34].

³² Se recurre a la descripción de M. Piore [35] de la transformación de los sistemas de producción industriales hacia una mayor variedad y flexibilidad como una evolución en cuatro estados: producción en masa, producción en masa flexible, producción especializada flexible cerrada y, finalmente, producción especializada flexible abierta.

CUADRO 2 *El modelo de integración horizontal.*

D. Messerschmitt [33]: “Existen dos modelos de arquitectura para la provisión de aplicaciones de red. En la forma más extrema de integración vertical, es necesaria una infraestructura dedicada para cada aplicación. El principal ejemplo es la red telefónica pública, que originalmente fue diseñada y desplegada específicamente para la transmisión de voz. Por el contrario, el modelo de integración horizontal se caracteriza por:

- Uno o más canales digitales de transporte de datos integrados y flujos de datos multimedia (stream media), como audio y vídeo con parámetros de calidad de servicio (QoS) configurables.
- Un conjunto de servicios, tales como servicios middleware (directorio, transferencia electrónica de fondo, gestión de claves privadas, etc.) y servicios multimedia (audio, vídeo, etc.) que estén disponibles para todas las aplicaciones.
- Un conjunto variado de aplicaciones disponibles para el usuario.



Una ventaja clave del modelo horizontal es que permite la integración de diferentes medios dentro de cada aplicación, así como de diferentes aplicaciones dentro del canal. (Por este motivo, en la industria de las telecomunicaciones habitualmente se llama a esto *red de servicios integrados*).

Pero antes de mirar con más detenimiento la evolución de Internet, una conclusión es evidente: ha habido una disociación entre el diseño y desarrollo de equipos primero, y el desarrollo de aplicaciones después, de los niveles inferiores de red, dentro de la jerarquía de protocolos (transmisión lógica y física de datos), de forma que los primeros prevalecen como módulos independientes de una edificación cada vez más compleja de comunicaciones (muchos hablan ya de *infocomunicaciones* más que de telecomunicaciones) [27, 36].

2.4.2.2 *La evolución “normal” en la trayectoria*

Dos evoluciones principales completan el panorama de la transformación del campo de las comunicaciones durante los últimos años: el aumento de las redes móviles como una infraestructura de facto para el tráfico de voz y varios cambios en cuanto a la estructura y el gobierno de Internet.

- En el cambio de milenio, tanto los hogares como los negocios optaron en masa por la telefonía móvil, que comenzó entonces a sustituir progresivamente a la antigua telefonía fija. Hoy en todos los países desarrollados, incluso en los EEUU, retrasado en este proceso, los patrones de la evolución de su uso sugieren que la telefonía fija y la móvil serán cada vez más bienes sustitutivos con el tiempo [37]. Y los observadores de la industria esperan que, para 2009, un 50% de todas las llamadas de voz se realizarán

desde teléfonos móviles³³. De aquí a pocos años, la telefonía móvil y la VoIP (voz a través de Internet) se impondrán como el método estándar para el tráfico de voz y canibalizarán los ingresos por servicios de voz tradicionales. Esto también creará tensiones sin precedente de cara a una integración fluida entre Internet y las redes móviles y requiere que se creen nuevos enfoques económicos y de regulación apropiados para la situación.

- Internet nació y creció como un entorno público de red, coordinado a propósito, como describieron S. Gillett y M. Kapur [38] hace algunos años. Desde un punto de vista organizativo, parece una confederación de redes (y computadoras) gestionadas independientemente, con un área de alta densidad en el “centro”. En Internet, los ordenadores de los usuarios finales, o redes de la frontera, se conectan directa o indirectamente (a través de las infraestructuras de un agregador local) a la “nube”, que es la columna vertebral (o red de transporte) del transporte de área amplia que constituye el “núcleo” de Internet. Usando una metáfora del transporte, cualquier proveedor de acceso para un ordenador o red de frontera simplemente proporciona transporte hasta un “centro neurálgico”, un “intercambiador”, desde el cual los paquetes IP del usuario final pueden saltar hacia otro enlace y, finalmente (tal vez tras varios saltos), alcanzar su destino. Estos intercambiadores son potentes ordenadores que los proveedores de la red de transporte proporcionan “en cantidad” a sus clientes (agregadores locales y redes de frontera). En última instancia, el exceso de ancho de banda en el “núcleo” y la existencia de muchos intercambiadores para la interconexión interactúan entre sí y reducen eficientemente la probabilidad de “cuellos de botella” en el transporte de datos de una parte a otra de Internet. Si se mira más cuidadosamente al mapa de Internet, se puede entender fácilmente que el ancho de banda que es abundante en el “núcleo”, al menos actualmente³⁴, escasea en la frontera. Naturalmente, según Internet va prosperando y evolucionando, existe una necesidad real de extender la conectividad de alta velocidad desde los intercambiadores hasta las instalaciones de los usuarios finales en hogares, pequeños comercios y pequeñas oficinas de grandes empresas, gobiernos locales, etc. Esto se conoce como el problema de la banda ancha en “la última milla”³⁵ que poseen las infraestructuras de comunicaciones modernas y es un problema de gran dificultad, con muchas ecuaciones tecnológicas y económicas que resolver (junto con la cuestión, que resurge en el debate público, de la regulación de la industria). También explica el hecho de que la arquitectura

³³ Ver especialmente http://www.soundpartners.ltd.uk/article_fixed_mob_sub.htm.

³⁴ Aunque los requisitos de conexiones de mayor ancho de banda nunca acaban.

³⁵ El “reto de la banda ancha” no está definido sólo en términos de un enlace de mayor ancho de banda, propiamente dicho, sino sobre la base de un conjunto de características de rendimiento (velocidad, latencia, pérdida de sincronismo, simetría entre la capacidad servidor-cliente y cliente-servidor, conexión permanente, etc.) para el servicio de Internet “desde el extremo de la red”.

de Internet se extienda adquiriendo nuevas ramas, como las WLAN y las redes ad hoc, que surgen ahora como opciones alternativas a la provisión de conectividad de banda ancha (junto con movilidad sofisticada), añadiendo así diversidad a unas infraestructuras de comunicaciones ya complejas³⁶.

Estas ramificaciones de red “desde fuera” trabajan junto con nuevas generaciones de aplicaciones para conseguir una metamorfosis estructural del núcleo. D. Clark y M. Blumenthal [39], haciéndose eco de las preocupaciones de la comunidad de investigadores y reguladores en comunicaciones de EEUU describen, en un documento reciente y muy influyente, esta metamorfosis como una seria “amenaza” a aquello que la comunidad de Internet considera como su ventaja más valiosa: el diseño de Internet, lo que se conoce como el “argumento end-to-end” (ver el siguiente Cuadro). ¿Cuáles son las fuentes de esta metamorfosis? Éstas definen varios puntos: I) Internet evoluciona desde una “red multipartita” como resultado de la expansión del vídeo y audio en tiempo real (vídeo y audio *streaming*), las aplicaciones *peer-to-peer* (P2P), las Grid y otras complejas aplicaciones en red, tanto juegos como aplicaciones empresariales críticas, que requieren un servicio “casi instantáneo” y “basado en su función”; II) existe una aceleración del despliegue de aplicaciones basadas en servidores intermedios (como los sitios de almacenamiento que traen contenidos “remotos” hasta el cliente, el cual requiere acceso a este contenido, o, por dar otro ejemplo, los servidores de mensajería instantánea)³⁷ que introducen iteraciones de dos etapas en la entrega de las aplicaciones; III) los ataques informáticos y nodos finales que quieren “forzar” la interacción con otros nodos finales (como es el caso del correo spam o los troyanos) se han convertido en una situación muy común en Internet, obteniéndose como resultado una multiplicación de los firewalls y el software para el “filtrado de aplicaciones”, estableciendo barreras “locales” para la conectividad “end-to-end” [ibidem].

CUADRO 3 *El argumento e2e.*

Los argumentos end-to-end (e2e) tienen veinticinco años de antigüedad. En 1981, en un documento llamado “End-to-End arguments in System Design” [40] (“Argumentos End-to-End en el Diseño de Sistemas”), J. Saltzer, D. Reed y D. Clark proponen una teoría para diseño de sistemas distribuidos, que se basa en la experiencia con ARPANET, recopilada en un argumento básico: “las funciones de los niveles inferiores de un sistema pueden ser redundantes o de poco valor al ser comparadas con el coste que supone proporcionarlas a ese bajo nivel”. Los argumentos end-to-end han marcado el diseño de Internet desde que sirvieron como fundamentación lógica para mover la funcionalidad de las aplicaciones “hacia arriba” (dentro de la jerarquía de niveles de red) y “hacia fuera” (hacia los “extremos” y no “el núcleo” de la red). Como explicaban Clark y Blumenthal [39], “Los argumentos end-to-end conciernen la forma en que deberían satisfacerse los requerimientos de las aplicaciones en un sistema. Cuando se construye un sistema de propósito general (por ejemplo una red o un sistema operativo) y luego se desarrollan aplicaciones usando este sistema (por ejemplo, el correo electrónico o la World Wide Web sobre Internet) surge la pregunta de cómo deben diseñarse estas aplicaciones específicas y los servicios requeridos para darles soporte. Los argumentos end-to-end sugieren que las funciones específicas de nivel de aplicación normalmente no pueden, y preferiblemente no deberían, implementarse en los niveles inferiores del sistema – el núcleo de red. El motivo se enunció de la siguiente manera en el documento original: La función en cuestión puede implementarse completa y correctamente sólo con el conocimiento y la ayuda de la aplicación ubicada en los extremos del sistema de comunicación. Por lo tanto, proporcionar esa función en cuestión como característica del sistema de comunicación en sí mismo no es posible”.

³⁶ Las redes inalámbricas, redes ad hoc, así como las redes de sensores (otra potente ramificación de Internet), tienen en la actualidad objetivos muy distintos a los de Internet en el terreno del diseño de aplicaciones y proponen nuevas formas para el encaminamiento de la información.

³⁷ Los llamados equipos intermedios, que contienen servidores a nivel de aplicación.

No sólo la estructura, también el gobierno de la confederación está sufriendo un cambio. En Internet, las interacciones entre miembros de la confederación son administradas, como se sugería antes, por un conjunto explícito de reglas mínimas comunes, integradas en el protocolo IP: un servicio de entrega (datagramas o paquetes) y un esquema de identificación (direcciones IP). Ésta es la conectividad IP. Pero, aunque parece *moneda común* en el sistema de intercambio de Internet (y lo es), la conectividad IP posee una economía industrial compleja que la dista de ser mercancía de un mercado al por mayor. La conectividad IP ha evolucionado, como se esperaba [31], hasta ser un producto con una elasticidad de sustitución y demanda relativamente baja en un mercado en el que, de hecho, varios Proveedores de Servicio de Internet (ISPs) compiten por diferenciarse entre ellos basándose en el servicio de red que pueden ofrecer ante las peticiones de aplicaciones que vengan de sus clientes (i.e. otros ISPs o redes frontera). El servicio de red significa servicio de transporte de datos mejorado y esto es lo que explica las estrategias de los ISPs que buscan: I) sobre-aprovisionar en ancho de banda sus redes de transporte, II) desplegar dentro de sus redes sitios de almacenaje y equipos intermedios, que acerquen los contenidos al usuario que solicita acceso a ese contenido [39]. Pero el aumento de los ISPs en Internet añade una clara condición a la manera en que la innovación se introduce en Internet: las innovaciones que buscan mejorar los *servicios de red* de Internet vienen ahora de los ISPs, o, lo que es lo mismo, es difícil ver innovaciones diseñadas dentro de un laboratorio de investigación, o en cualquier otro sitio, adoptadas sin el consentimiento de la poderosa comunidad de ISPs (RSVP, y en general el despliegue de una calidad de servicio (QoS) determinada en Internet son víctimas del rechazo de los ISPs a ir más allá de los estándares actuales de QoS³⁸).

CUADRO 4 *La arquitectura de Internet en la realidad.*

(Internet Architecture in Reality: An Assembly on Inter-dependent Protocols)
(E. Gelenbe, Imperial College).

- La Red es una posible Interfaz de Usuario Estándar.
- TCP (Protocolo de Control de Transmisión):
Controla el flujo de paquetes de una conexión como una función de “paquetes enviados correctamente” o “paquetes perdidos” (TCP Reno, Vegas, etc.) y retransmite los paquetes perdidos.
- BGP:
Determina rutas entre conjuntos de encaminadores (routers) que pertenecen a un Sistema Autónomo (AS).
- MPLS:
Lleva a cabo una conmutación de paquetes rápida basándose en rutas dentro de los AS predeterminadas, usando etiquetas e implementando ingeniería de tráfico dentro de los AS.
- IP (Protocolo de Internet):
Implementa el encaminamiento por la ruta más corta dentro de los AS. Variantes de QoS de Direcciones IP (p.ej. IPV6), Encolamiento Justo Ponderado, Control de Congestión a través del Descarte de Paquetes...

³⁸ RSVP (RFC 2205) son las siglas de Reservation Protocol (Protocolo de Reserva de Recursos) y pretende mejorar la actual arquitectura de Internet dando soporte a flujos de Calidad de Servicio. El protocolo RSVP puede ser empleado por un host o servidor para solicitar unas calidades de servicio específicas de la red para los flujos de datos de una aplicación en particular. RSVP también puede ser empleado por los routers para entregar calidad de servicio. A pesar de sus ventajas, el protocolo RSVP no ha sido adoptado por los ISPs nunca, permaneciendo así como una tecnología con potencial pero sin aplicación.

2.4.2.3 La confusión tecno-política y la necesidad imperativa de nuevas consideraciones relativas a la arquitectura

Naturalmente, mientras Internet cambia rápidamente, la gente discute sobre las acciones que se deben tomar para afrontar el cambio. Hoy por hoy, el argumento end-to-end está en el centro del Debate sobre Banda Ancha e involucra varias disciplinas, desde informática y redes de ordenadores hasta economía, derecho y sociología, así como a muchos académicos, políticos y ambiciosos líderes de grupos de presión. Lo extraño es que este debate no ha tenido una repercusión real en Europa. En el extranjero, provoca pasiones y serias divergencias con respecto a futuras políticas para Internet. El problema principal concierne a la forma de regular la próxima migración hacia la banda ancha, pero en esencia es la arquitectura original de Internet la que está en *estado de sitio*. El debate está polarizado, de alguna forma, entre *aperturistas* y *des-regulacionistas*, como describía inteligentemente T. Wu [41]. Los *aperturistas* apelan a los principios del e2e (y a la subsiguiente apertura a la innovación) y a la neutralidad (la práctica original de Internet de no discriminar entre usos y contenidos) para exigir una regulación que obligue a los operadores de redes de banda ancha a respetar el acceso libre y la neutralidad de la red [42]. Los *des-regulacionistas* destacan la incapacidad de Internet hasta ahora para proporcionar servicios de tiempo real (a través del despliegue de una *calidad de servicio variable*) y apelan a los “costes irre recuperables” (que preceden a cualquier innovación en las ofertas de servicio de red) de los que hace falta reponerse, como argumento en contra de una intervención “ineficiente” y “duradera” por parte del gobierno. Naturalmente, piden más espacio para los dueños de redes privadas. Esperan, por tanto, que los proveedores de red financien la evolución de Internet y lideren la Internet de Nueva Generación [43, 44].

Estos temas y sus implicaciones son difíciles de reconocer y entender completamente aquí en Europa. Varios temas económicos y sociales destacan en este conflicto: I) preocupaciones éticas: Internet debería permanecer libre de cualquier tipo de control, sea del gobierno, de empresas u otros; II) motivaciones de interés público: Internet debería seguir funcionando como un bien común para la innovación, siguiendo la trayectoria de un servicio de transporte de datos independiente de la aplicación que permite la introducción de nuevas aplicaciones y facilita la integración de nuevas tecnologías; III) estrategias para influenciar en la estructura de la industria: si Internet va a dar servicio a aplicaciones que requieran un “rendimiento de red mejorado” (como voz y vídeo en tiempo real o multicast) y a suministrar acceso eficiente de banda ancha, los proveedores realizarán inevitablemente acciones de integración vertical (la agrupación de infraestructuras y servicios de alto nivel o la agrupación de acceso de banda ancha con contenidos); iv) preocupaciones por el bienestar del consumidor: si la integración vertical parece ser inevitable, debería permitirse una cierta libertad de elección para el usuario en cuanto al “proveedor de encaminamiento” (como ocurre en el mercados de las llamadas de larga distancia).

Cualquiera que sea el resultado de este debate, una cosa ya está clara: las estrategias de negocio de los proveedores de red (y de equipos de red) deberían reflexionar más sobre el futuro del diseño de Internet. En las generaciones venideras de Internet, la innovación podría introducirse desde ambos lados: desde la “frontera”, donde el “conocimiento de muchos” produce aplicaciones nuevas, y desde el “núcleo” de Internet – y el club de (grandes) ISPs “dueños” de ese núcleo y que quieren “organizar” su desarrollo en cuanto a servicio de red y, más aún, quieren influir estratégicamente sobre el ritmo y la dirección del cambio tecnológico. Como destaca R. Nelson, las tecnologías y las instituciones evolucionan juntas [45]. Las instituciones son las “reglas del juego” [46] y las reglas del juego van a cambiar, ya que las aplicaciones, que se están volviendo más sofisticadas y portables, quieren disfrutar de un mejor rendimiento de la red.

Ciertamente, la Internet actual ha producido aplicaciones muy robustas, tal vez porque los diseñadores de aplicaciones tenían que trabajar con una red de “semántica débil”, por lo que debían “arreglar” en la frontera problemas causados por un rendimiento variable de la red (debido a la falta de mecanismos para explicitar compromisos de rendimiento). Pero según va madurando Internet, las aplicaciones van necesitando un conjunto diferente de condiciones de funcionamiento, más predecible y fiable que el que proporciona el modelo de “esfuerzo razonable”. Naturalmente, las nuevas estrategias de los proveedores de red (i.e. el “club” de los ISPs) reflejan las oportunidades que proporciona la matriz institucional. Quieren involucrarse en la provisión de aplicaciones, con el objetivo de ofrecer servicios mejorados, y quieren hacerlo según la dirección que ellos comprenden: aumentando la inteligencia “dentro” de la red [47].

El hecho de que Internet adquirirá una madurez para tomar decisiones sobre la oferta de aplicaciones es hasta cierto punto inevitable. Puede resultar una evolución de “suma positiva”, siempre que Internet siga siendo abierta y transparente para nuevas aplicaciones. La innovación desde el “núcleo” puede ser un paso definitivo hacia el “modelo de integración horizontal”³⁹. También debería ser una clara conformación de la dinámica de una trayectoria de *especialización abierta y flexible*, en la que estos dos aspectos son potencialmente infinitos: el conjunto de características variables de diseño (y en el diseño de aplicaciones, así como en el diseño de servicio de red a aplicaciones) y el rango en el que fluctúan dichas variables. Si debe continuarse esta trayectoria, queda mucho por hacer de cara a estructuras productivas y organizativas más flexibles que puedan dar lugar a mercados con productos más personalizados, que compitan en términos tanto de calidad como de variedad de las aplicaciones. Por el contrario, permanecer mucho tiempo más con el diseño de paquetes actualmente en uso en Internet podría amenazar la estabilidad de esta trayectoria y, posiblemente, forzar un movimiento

³⁹ Ver supra.

hacia un modelo de *especialización flexible cerrada* para Internet en el que: I) una semántica de red mínima y muy precisa pueda colaborar con la optimización de la implementación de aplicaciones actuales; II) prevalecerán un rendimiento y eficiencia más altos para las aplicaciones existentes frente a la eficacia en términos de flexibilidad y capacidad para evolucionar [47, 48].

En un sentido más amplio, lo que representa el reto ahora es la *coordinación según un nuevo diseño* y tal vez *más allá del diseño* (a través de un marco de coordinación apropiado que distribuya racionalmente los ingresos entre los participantes de Internet, recompensando las contribuciones reales de cada participante en la cadena de valor de la industria). Los principios de un nuevo diseño deberían estar representados en una arquitectura de Internet reformada, que permita responder a los retos del mundo de hoy, como se describía anteriormente, permaneciendo a la vez lo suficientemente abierta y flexible como para incorporar los cambios futuros. Un grupo de investigadores liderados por D. Clark, investigador senior del MIT (uno de los “padres” de Internet) ha estado trabajando estos últimos años en la dirección de “*acciones diseñadas para preservar la capacidad (de Internet) de hacer cambiar, evolucionar y avanzar la tecnología*” [47, 48]⁴⁰. Más allá del diseño enfocado al cambio, tres importantes conceptos parecen ser los “principios” que deberían distinguir la Internet de nueva generación de la arquitectura actual [ibidem]:

- transparencia controlada (insinuando la aparición de áreas confiables reguladas en Internet),
- aislamiento de conflictos de interés (“diseño enfocado a conflictos”),
- el uso de un subsistema de soporte ligero, compartido, con capacidad para evolucionar (como compromiso entre la valiosa herencia de los datagramas sin estado y no orientados a conexión y el reto de implementar parte de la funcionalidad de las aplicaciones “dentro” de la red).

Lo que finalmente prevalecerá como una nueva arquitectura de Internet es la interacción entre las “ecologías” de los nuevos diseños, visiones y estrategias de proveedores de aplicaciones y de red. En este contexto, como indican D. Clark y M. Blumenthal, “... es demasiado pronto para predecir la forma final. Lo que podemos hacer ahora es presionar de forma que tiendan hacia ciertos resultados” [39]. Y ahí hay espacio para la investigación. Lo que la investigación a largo plazo puede hacer es proporcionar un marco para la estimulación tanto de la innovación en la arquitectura como de la coordinación más allá del diseño, con estabilidad y flexibilidad, dentro del espacio complejo y en continuo cambio que es Internet.

⁴⁰ Ver, a este respecto, el Proyecto NewArch sobre el cual informa este documento al discutir en más detalle las nuevas arquitecturas relativas al diseño de redes para Internet.

2.4.2.4 Redes digitales

Si Internet es la “causa”, i.e. el motor para nuevas aplicaciones fáciles de implementar, entonces la transformación estructural de la economía y de la vida social es el efecto. Internet y sus aplicaciones en red “hospedan” cada vez más la actividad económica y social, que está transformándose en actividad en red. B. Arthur [49] describe esta invasión de la economía por parte de Internet como un proceso neurológico: “La tecnología digital está alcanzando muchos negocios y procesos técnicos y está convirtiéndose en una parte integral de ellos. Los propios negocios y tecnologías están involucrados en conversaciones en curso... En otras palabras, la digitalización se está convirtiendo en el proceso neurológico de la industria misma. Y, por lo tanto, cuando la economía vuelva, e incluso antes de que lo haga, este proceso continuará rápidamente y las industrias descubrirán nuevas funcionalidades y se transformarán ellas mismas. Es imparable”. Estas redes digitales, al conectar (de una manera sin precedentes) sistemas, procesos y funciones entre empresas y dentro de las mismas, entre negocios y clientes y entre clientes, así como entre gobiernos, ciudadanos, comunidades educativas, sociales y profesionales, etc., se convierten en los auténticos usuarios “de la frontera” de Internet. Si Internet está, de alguna manera, coordinada a propósito, ¿cómo combinan estas redes la tecnología con las innovaciones organizativas o sociales? Y entonces, ¿cómo enmarcan estas dinámicas de formación de redes digitales las posiciones de sus partes individuales (negocios, consumidores)?

CAPÍTULO 3

Análisis DAFO

Fortalezas:

- La ambición política de querer establecer un programa coherente para apoyar el crecimiento económico basado en las TIC.
- Posición tradicionalmente fuerte en muchas industrias de comunicaciones.
- Conciencia política y social de los múltiples beneficios asociados a la inversión en I+D en las TIC.
- Perspectivas de aumentar el presupuesto dedicado a I+D en las TIC.
- “Cultura” de investigación a largo plazo y tradición ya arraigada de colaboración entre industria y educación, creada y mantenida por los Programas Marco de I+D.
- Inversiones públicas en infraestructuras para redes de investigación universitaria.
- Conciencia de los enfoques y métodos de las “tecnologías convergentes”.
- Mercados nacionales liberalizados en el ámbito de las redes de comunicación e implementación exitosa (y continua) de políticas de mercado único.
- Políticas de bienestar para el consumidor que promueven servicios de comunicación de banda ancha asequibles y políticas que promueven la innovación en servicios públicos (e-gobierno, e-sanidad, etc.).
- Operadores y fabricantes de equipos de telecomunicaciones europeos con dinámicas globales y posiciones financieras saludables.
- Expansión de las comunidades tecnológicas de código abierto.
- La aparición de casos europeos de éxito (Skype).

Debilidades:

- Problemas de implementación de políticas de investigación (falta un marco claro de evaluación de la eficiencia de la inversión europea en I+D en las TSI / “amnesia histórica” o “no aprender de los errores”).
- La “brecha digital” entre países europeos que mantienen diferencias en cuanto a la red de comunicación disponible para los ciudadanos, las empresas y las organizaciones públicas.
- Programas estratégicos de investigación a (más) corto plazo en tecnologías y redes de comunicación, como se define en los Programas Marco (existe un desequilibrio en los Programas Marco entre la investigación enfocada al mercado y la investigación a largo plazo).

- Aumento de la preocupación de los ciudadanos por la contaminación electromagnética (y la privacidad).
- Investigación universitaria (todavía) fragmentada.
- Falta éxito en proyectos de demostración interdisciplinares.
- “Capacidad de absorción” insuficiente en lo que respecta a las transformaciones de Internet y las posiciones débiles con respecto a áreas de middleware y aplicaciones.
- El peso excesivo de los operadores de telecomunicaciones en el desarrollo de las redes (no se fomenta lo suficiente que las autoridades locales y organizaciones de interés público construyan sus propias redes para dar servicio a sus necesidades concretas).
- Desequilibrio entre los grandes operadores de telefonía y las empresas pequeñas e innovadoras, orientadas a las aplicaciones.

Oportunidades:

- En comparación con EEUU y otros miembros del G7, la UE tiene más mecanismos de coordinación del “empuje tecnológico” y el “tirón de mercado” a su disposición para establecer prioridades eficaces en la investigación de las comunicaciones.
- Posibilidad de coexistencia en armonía entre las políticas de investigación orientadas a mercado y las de largo plazo.

Amenazas:

- Un desplazamiento continuo del “valor” de las tecnologías desde los “niveles inferiores” a las aplicaciones, servicios y redes digitales en las que la UE tiene una posición bastante débil. Las transformaciones continuas de Internet crean situaciones de “cambio disruptivo” de facto.

Las líneas anteriores resumen los resultados de un análisis DAFO, mostrando las fortalezas y las oportunidades de Europa, así como las debilidades y las amenazas que le suponen retos. Las amenazas más importantes están asociadas a la complejidad de Internet y su inmenso potencial de transformación continua que crean situaciones de “cambio disruptivo” de facto. Esto se combina con las debilidades estructurales que la UE (al menos parte de ella) parece desarrollar: una limitada “capacidad de absorción en el aprendizaje”⁴¹ con

⁴¹ W. Cohen y D. Levinthan [50] han introducido el concepto de “capacidad de absorción en el aprendizaje” para indicar la capacidad de una empresa a la hora de valorar, asimilar y aplicar nuevos conocimientos. Está estudiado en múltiples niveles de organización (grupo, empresa y macro-nivel) y se expresa como rendimiento en innovación, nivel de aspiraciones y aprendizaje organizativo. Los antecedentes son los conocimientos previos (capital de conocimiento y flujo de conocimiento) así como la comunicación. Como apunta la Wikipedia, la base teórica implica aprendizaje organizativo, economía industrial, la opinión basada en recursos de la empresa y enfoques de capacidades dinámicas.

respecto a los caminos evolutivos de Internet⁴². Como resultado, la UE corre de nuevo el riesgo de, de alguna forma, no tomar la dirección que seguirán los cambios y perder más terreno durante la próxima redistribución de posiciones.

Las oportunidades futuras están estrechamente relacionadas con hacer un completo uso del entorno diversificado de cara a las políticas de “empuje tecnológico” y “tirón de mercado”, incluyendo las nuevas políticas industriales. En este contexto, una posible solución para mejorar la “capacidad de absorción” puede venir de un aumento de las inversiones en I+D, especialmente en prioridades de investigación efectivas y a largo plazo. De hecho, una estrategia más equilibrada entre la *investigación orientada a la adecuación* y la *investigación a largo plazo* puede ofrecer las herramientas para enfrentarse directamente a estos retos. Este informe quiere contribuir proponiendo una sinopsis concisa de seis amplias áreas en las que la investigación a largo plazo será la clave para entender y formular las nuevas tendencias hacia un “cambio disruptivo” en el sector de las tecnologías y redes de comunicación.

⁴² Esto es probablemente herencia de una inicial perplejidad ante la eficacia de los datagramas sin estado ni conexión previa de Internet a la hora de proporcionar un servicio de red razonable, una perplejidad del estilo de “primero ignorarlo... luego sorprenderse... finalmente aceptarlo”, por citar a E. Bohlin de la Universidad de Chalmers.

CAPÍTULO 4

Desarrollo de una visión para una agenda de investigación

- 4.1. Diseños de red y nuevas arquitecturas para Internet (PÁG. 52)
- 4.2. Modelos para la comprensión de las redes actuales y futuras (PÁG. 58)
- 4.3. Ciberinfraestructura, redes digitales y economía de la información (PÁG. 65)
- 4.4. El triángulo Internet, Móvil, Inalámbrica (o más allá de "beyond-3G") (PÁG. 74)

Esta sección cubre la esencia de las contribuciones de este informe. De acuerdo con un informe paralelo sobre el futuro de las Tecnologías de la Información (IT)⁴³, hacemos una proyección del estado del arte y de las tendencias emergentes hacia los próximos 10 años. Continuando con el análisis de las dinámicas evolutivas de la industria de las comunicaciones, que era el objetivo de las secciones anteriores, identificamos las áreas clave para la investigación a largo plazo. Reflejan una visión de las mayores oportunidades de crecimiento en este sector y ofrecen una perspectiva de investigación relativa a las “tecnologías convergentes” [51] con el objetivo de “tener sentido” en los desarrollos futuros que rodean la evolución de las tecnologías y redes de comunicación.

El informe detalla seis áreas.

Las dos primeras áreas están relacionadas con la investigación de componentes críticos (tecnologías de infraestructuras y aplicaciones) de la Infraestructura de la Información.

Las cuatro áreas siguientes están definidas sobre las base de retos más complejos, como las arquitecturas de diseño y los modelos teóricos para redes descentralizadas, gestión de complejidad para nuevas formas de organización digital que aprovechen la ventaja estratégica del potencial de los “commons” y la creación de políticas abiertas – donde la investigación interdisciplinar debe hacer contribuciones cruciales.

- Infraestructuras tecnológicas habilitadoras y tecnologías de seguridad.
 - Aplicaciones (concentrándose en aplicaciones en tiempo real y orientadas a toda la organización).
 - Diseño de red y nuevas arquitecturas para Internet.
 - Modelos para la comprensión de las redes actuales y futuras.
 - Ciberinfraestructuras, redes digitales y economía de la información.
 - El triángulo Internet, Móvil, Inalámbrico (o más allá de “beyond-3G”).
- Habilitar tecnologías de infraestructura y tecnologías de seguridad: esta área cubre las tecnologías que dan soporte a las nuevas generaciones de niveles de infraestructura (hacia una capacidad ilimitada de transporte por fibra), protegen la integridad de la red y habilitan la extensión de las infraestructuras de comunicación con nuevas ramas y topologías. Incluyen:
 - Tecnologías para el aumento de la capacidad de los niveles de red (redes ópticas) y para la mejora de la calidad con la implementación de nuevos diseños para redes de banda ancha (redes basadas en lambda).
 - Tecnologías y arquitecturas para el bucle de abonado de banda ancha.

⁴³ Informe de W. Bibel (ver nota 6).

- Componentes críticos para la mejora de redes inalámbricas y móviles.
 - Redes integradas.
 - Protección de infraestructuras físicas, seguridad de la integridad de la red (protección de ataques hostiles e intrusiones), interoperabilidad de las funciones de seguridad de la información en redes y sistemas de información, soluciones de red para situaciones de emergencia.
- Aplicaciones (en especial las aplicaciones en tiempo real y las aplicaciones para toda la empresa): en este sentido, la investigación a largo plazo debería fortalecer la calidad y la vitalidad de la base europea para la producción de nuevas aplicaciones. Debería fomentar la interoperación entre desarrollo de software, las metodologías de desarrollo y otros campos no técnicos (el contexto del uso de aplicaciones y la difusión de las estrategias), aprovechando las políticas industriales que estimulan la innovación. Posibles ejemplos de aplicaciones con un potencial previsiblemente alto en los próximos 10 años incluyen:
 - Aplicaciones de tiempo real (voz y vídeo) sobre IP
 - Mensajería y presencia
 - Aplicaciones en red para la empresa
 - Aplicaciones de mejora de la privacidad
 - Diseño de red y nuevas arquitectura para Internet: la investigación en esta área esta motivada por las limitaciones de la Internet actual con respecto al diseño de su arquitectura. A 10 años vista, esta investigación debería buscar: I) revitalizar Internet con una nueva arquitectura que se corresponda con su naturaleza cambiante, II) desarrollar redes de conmutación de paquetes con características de rendimiento y comportamientos de adaptación a las necesidades particulares de las aplicaciones y los usuarios de la red, III) diseñar la interoperación eficiente de Internet, con la infraestructura móvil, que actualmente está en expansión, y con redes con distintas topologías, tales como las redes inalámbricas y redes ad hoc. Esta área puede verse como la más estratégica de la industria de las comunicaciones al completo, puesto que está relacionada con la re-inversión “equilibrada” de la inteligencia de red tanto en la “frontera” como en el “núcleo” de la red. Las futuras generaciones de redes (con “inteligencia” re-asignada entre las distintas partes de la red) se están diseñando ahora no sólo para proporcionar una mayor capacidad de red y diversidad de aplicaciones, sino también para permitir comportamientos sofisticados (basados en el aprendizaje de los eventos de la red, según progresan para mejorar el rendimiento futuro) y una funcionalidad de gestión de red mejorada (diagnóstico automático y fiable de problemas existentes, autogestión de red, etc.). Con este propósito se están empleando las metodologías de las “tecnologías convergentes”, desde redes cognitivas hasta comunicaciones inspiradas en la biología.

- Modelos para la comprensión de las redes actuales y futuras: Internet, la Web y diversas redes que “se alimentan” de ellas (desde las redes P2P hasta las “redes de realimentación del cliente”) son sistemas complejos que necesitan ser modelados para poder ser entendidos y diseñados con eficiencia. Los últimos años han sido testigo de una actividad importante dedicada a medir, modelar y entender la dinámica de comportamiento de Internet y la Web. La investigación en estos campos empezó con el estudio de los datos recogidos sobre tráfico en Internet y la Web, pero se ha extendido rápidamente a una variedad de intentos de descubrir, tras esos datos, irregularidades y claros patrones (como su naturaleza “libre de escala”) que puedan ser expresados de forma matemática y estadística. Los investigadores ahora persiguen vías evolutivas y propiedades y comportamientos macroscópicos de Internet y la Web y desplazan su atención hacia el modelado del crecimiento y la evolución de estas redes como un proceso acumulativo y auto-organizado. También recurren a una metodología notablemente interdisciplinar, tomando distintos enfoques científicos, desde la física estadística a los sistemas complejos y la economía organizativa. El objetivo ulterior es crear nuevos modelos de red que sean estadísticamente indistinguibles de la Internet y la Web reales. Este enfoque, que pretende difuminar las fronteras entre el *artefacto* y el modelo, promete ser muy fértil en cuanto a la comprensión de la dinámica de las redes complejas actuales, la explicación de los patrones de crecimiento y la evaluación de la estabilidad de su organización y el rendimiento del servicio que proporcionan.
- Ciberinfraestructuras, redes digitales y economía de la información: la investigación de la arquitectura de diseño de las redes de comunicaciones, y de las propiedades dinámicas de su comportamiento, debería combinarse con la investigación interdisciplinar en el terreno de las redes digitales y la economía de la información. Estas nuevas formas de organización son posibles debido a la interoperación entre infraestructuras, aplicaciones y varias redes (superpuestas) de clientes y empresas. Pero ¿cómo se organizan estas redes digitales en el espacio? ¿Cómo formulan las estrategias de los vendedores y las actitudes de los clientes? ¿Cómo pueden gestionarse eficientemente? La economía de la información permite a los consumidores obtener eficientemente la información sobre un producto de diversas maneras: I) mediante una búsqueda en Internet (distinta a la búsqueda en el mundo físico, que está limitada al descubrimiento del precio y a la evaluación de la calidad del producto), que proporciona “experiencia con respecto al producto”; II) obteniendo publicidad “personalizada” a través de la red y el marketing por móvil; III) como una consecuencia de varias actividades en Internet (“visitas a Slashdot”, participación en foros y conversaciones de Internet, etc.). ¿Qué ocurre, entonces, con las consecuencias de un incremento dramático en la información comercial disponible (especialmente de la información disponible antes de la compra de cualquier producto), que se está convirtiendo en un factor importante del comportamiento relativo a las compras? Es necesario formar y diseminar una visión de las características estructurales de la economía de la información de reciente aparición para ayudar a las empresas europeas a desarrollar modelos de negocio saludables y sostenibles con respecto a la “ventaja competitiva” en una economía del conocimiento.

- El triángulo Internet, Móvil, Inalámbrico (o más allá del “beyond-3G”): las redes móviles entran ahora en una nueva fase de crecimiento, que permite una inteligencia y flexibilidad mucho mayores de cara a ser incorporadas en transmisores y receptores (de forma que se pueda usar el espectro más eficientemente), *aplicaciones ricas*, la entrega de servicios multimedia sobre IP, así como redes ad hoc entre nodos inteligentes, de banda ancha⁴⁴. Más aún, la Comisión Europea y muchos otros gobiernos en el mundo están elaborando planes para una reforma del espectro en un clima de: I) creciente demanda del espectro radioeléctrico y una “actividad de resolución de problemas” innovadora, de cara a una gestión más eficiente del espectro, II) convergencia entre tecnología móvil e inalámbrica, así como entre acceso fijo y acceso móvil o inalámbrico a Internet. En pocas palabras, se avecina un cambio tecnológico “disruptivo”. La investigación con variedad de objetivos y de enfoques y la experimentación sistemática con nuevos conceptos tecnológicos y enfoques de regulación es la mejor respuesta a la incertidumbre tecnológica, además de ser la forma en que Europa puede mantener su liderazgo en tecnologías móviles, establecidas a través del GSM. ¿Pero cuánto deberá adentrarse esta experimentación más allá de 3G/4G?

Las próximas dos áreas clave de investigación recomendadas por este informe, “Infraestructuras tecnológicas habilitadoras y tecnologías de seguridad” y “Aplicaciones (concentrándose en aplicaciones de tiempo real y orientadas a todas las organizaciones)”, están bien tratadas dentro del I+D actual (dentro de las visiones sobre Internet de Nueva Generación y la Inteligencia Ambiental^{46 47}, tal y como las implementan varias iniciativas de INFSO/D⁴⁸), ahora rediseñado, a varios niveles, desde la perspectiva del 7º Programa Marco⁴⁹. Cómo conseguir un mejor equilibrio en estas áreas entre investigación orientada al mercado e investigación a largo plazo excede los objetivos de este informe y requiere un análisis y evaluación detallados, en términos de políticas, del alcance y resultados de la AmI y la NGI.

Las cuatro áreas clave de investigación siguientes engloban temas tratados probablemente en el contexto de varias iniciativas próximas o ya existentes, pero en este informe se las considera conjuntos independientes de preguntas abiertas en el ámbito de la investigación. Estas áreas suponen un reto para nuestras capacidades actuales,

⁴⁴ Informamos aquí sobre la existencia del informe de ESTO-IPITS sobre “El futuro de las comunicaciones móviles en la UE: Evaluando el potencial de 4G” (“The Future of Mobile Communications in the EU: Assessing the potential of 4G”), que inteligentemente resume los factores que podrían tener, en un futuro cercano, un impacto significativo en el despliegue de tecnologías inalámbricas y móviles – ver: referencia [52].

⁴⁵ AmI (ver nota 8).

⁴⁶ NGI (ver nota 9).

⁴⁷ Para los aspectos de seguridad del paradigma de la AmI, ver: <https://rami.jrc.it/>

⁴⁸ INFSO/UnitD: Tecnologías de red y comunicaciones.

⁴⁹ Ver: CE, (Proposal for a Decision of the European Parliament and of the Council concerning the Seventh Framework Programme of the European Community for research, technological development and demonstration activities) (2007 a 2013), COM (2005) 119 final.

en cuanto a que todas ellas están relacionadas con lo que C. Papadimitriou [21] llama la “complejidad socioeconómica” de Internet: la co-existencia en un sistema modular de varios -numerosos- elementos (en esencia, estructuras de red), con objetivos diversos y heterogéneos, manejados y empleados por una multitud de intereses económicos diversos que colaboran y compiten entre sí⁵⁰. Es crítico aprender a diseñar y gestionar la coordinación y evolución de estas estructuras, porque lleva a maneras mejores de usar estos sistemas. Pero esto ciertamente requerirá el desarrollo de nuevas formas de comprensión, nuevas metodologías, herramientas al límite de lo que puede ser científicamente posible, etc. Este informe recomienda tres retos particulares para la investigación básica que pueden ser importantes fuentes de innovación en este esfuerzo y también recursos de múltiples externalidades: arquitectura de diseño, teorías de red y métodos interdisciplinarios. Habiéndolas comentado brevemente en una sección anterior, pasamos aquí a presentarlas en detalle:

- Arquitecturas de diseño: la arquitectura es un elemento esencial en cualquier sistema de comunicaciones. Proporciona un conjunto de principios de organización y de relaciones de estructuración de los elementos de red (algoritmos y protocolos) que guían el diseño técnico de la red [19]. Esto es, en esencia, un “modelo de referencia” que permite una conversación eficiente entre componentes y el desarrollo y la construcción modular. En este sentido, la arquitectura organiza la búsqueda de nuevos diseños: *“Así como las arquitecturas físicas crean tanto como limitan las posibilidades de movimiento en espacios físicos, las arquitecturas de diseño crean y limitan las posibilidades en los ‘espacios de diseño’, donde tiene lugar la búsqueda de nuevos y mejores diseños. Puesto que organizan la búsqueda de nuevos diseños, las arquitecturas de diseño son una importante fuente de innovación, valor económico y bienestar para el consumidor en una economía basada en el conocimiento. Pero a pesar de su fuerte influencia, no se habla mucho de este tipo de arquitecturas”* [18].
- Teorías de red: las redes de comunicaciones a gran escala con arquitecturas complejas, como Internet y la Web, son muy nuevas, mucho más óptimas, limitadas por la historia y sostenidas por “ecologías de hipótesis” que convergen en modelos dinámicos de coordinación, generando estructuras muy específicas y un comportamiento muy robusto. Es necesario teorizar atenta y formalmente para estudiar los fundamentos de la complejidad en estas redes, para mejorar su rendimiento [20, 53].
- Métodos interdisciplinarios: los avances en las direcciones mencionadas necesitan el apoyo de una investigación interdisciplinaria real que implique la transferencia de conocimiento y técnicas de modelado desde otras disciplinas a la investigación de las comunicaciones. Como se sugiere en el informe de la comunidad de las TFE [17], “la comprensión de cómo redes tan grandes y dinámicas pueden gestionarse requiere un enfoque interdisciplinario,

⁵⁰ Ver también la subsección anterior: “La necesidad de la UE de establecer prioridades de investigación a largo plazo pero eficaces en el ámbito de las comunicaciones”.

que adopte metáforas de economía, por ejemplo, puesto que uno podría definir el “bienestar” de la red total como una medida global del “buen estado” de todos los sistemas autónomos...”. Según nuestro punto de vista, no sólo necesitamos metáforas y no sólo de la economía: ciencia cognitiva, neurociencia social cognitiva, neuroeconomía, ciencias sociales y del comportamiento, todas tienen metodologías y modelos que ofrecer para las nuevas generaciones de tecnologías y redes de comunicación.

En la siguiente tabla relacionamos las cuatro áreas clave de investigación propuestas a estos tres retos para la investigación básica:

	<i>Arquitecturas de diseño</i>	<i>Teorías de red</i>	<i>Métodos interdisciplinarios</i>
Diseño de red y nuevas arquitecturas para Internet	Sí	-	Informática e Ingeniería. Modelos cognitivos y enfoques inspirados en la biología
Modelos para entender las redes actuales y futuras	-	Sí	Informática, modelos económicos, modelos de comportamiento
Ciberinfraestructura, redes digitales y economía de la información	-	Sí	Informática, conocimiento dado por la neurobiología y neuroeconomía sociales cognitivas Enfoques de ciencias organizativas, modelos económicos y de comportamiento
El triángulo Internet, Móvil, Inalámbrica (o más allá de “beyond-3G”)	Sí	Sí	Informática e ingeniería, análisis y diseño de políticas regulatorias, modelos económicos, enfoques de ciencias organizativas

Una nota final: hemos buscado identificar prioridades realistas a largo plazo en el sector de las comunicaciones, concentrándonos en un tiempo dentro de 10 años, basándonos en dos criterios: I) fortalecer nuestra comprensión científica de las tecnologías y redes de comunicación, II) proporcionar un marco coherente para nuevas opciones que lleven a nuevos diseños que generen mayor valor. Por supuesto, la lista de seis áreas de investigación claves que proponemos no es exhaustiva. Pensamos, sin embargo, que estas áreas tópicamente “continúan” con interesantes problemas abiertos que ya atraen a investigadores ambiciosos y exploran nuevas metodologías que se inspiran en la organización de Sistemas Complejos (CS) y la revolución de las ciencias cognitivas y, de alguna manera, “oscilan” entre los enfoques de teoría de algoritmos y los modelos computacionales implementados sobre sistemas simulados a gran escala⁵¹. En lo que sigue de este documento, revisamos en detalle las cuatro áreas claves de investigación recomendadas y discutimos las metodologías que la investigación en dichas áreas podría necesitar para explorar en profundidad.

⁵¹ Nuestra visión complementa lo que un informe reciente sobre investigación de Sistemas Complejos, proveniente de la comunidad de las FET (Tecnologías Futuras y Emergentes), define como prioridades de investigación en las áreas estratégicas de la Gestión de complejidad para Internet y la Web [17].

4.1 Diseños de red y nuevas arquitecturas para Internet

La investigación -tanto básica como aplicada y de alto nivel- relevante a esta área responde al reto de afrontar e influenciar las continuas transformaciones de Internet. Abarca varios aspectos del diseño y optimización de red e incluye la variedad y robustez de aplicaciones, el rendimiento de las redes de paquetes, la eficiencia del encaminamiento y conmutación, señalización y control, la interoperación entre distintos modos (conmutación de paquetes en Internet, redes móviles, redes inalámbricas y ad hoc, redes de sensores), etc..

Como se ha tratado anteriormente, la arquitectura actual de Internet es objeto de cada vez mayores críticas. A pesar del fenomenal éxito de Internet y su lugar cada vez más importante en nuestras sociedades, o quizás precisamente por este éxito, aparecen varios problemas operativos como resultado de la brecha entre la arquitectura “vieja” y estática de Internet y los complejos requisitos que surgen de la “realidad” de la evolución “normal”. Para poder seguir adelante aun con esas contradicciones provocadas por esta brecha⁵², los ingenieros de software y los estrategas de negocio han estado inyectando en la “máquina de Internet” numerosas pequeñas dosis, y quizás contradictorias, de cambio, según una comprensión a corto plazo de lo que realmente era necesario. El reto y la oportunidad de hoy requieren que pensemos de nuevo, quizás para diseñar desde cero con la experiencia de la transformación ad hoc de Internet, sobre una arquitectura global que pueda “alojar” el futuro de Internet. Como indican D. Clark et al, *“el reto que afronta la investigación y la ingeniería de Internet es reconocer y aprovechar esta realidad- como mínimo para tener espacio para ella: si es posible, para usarla como fortalecimiento de la arquitectura técnica”* [47].

David Clark lidera un grupo de científicos en el MIT que siguen una investigación relacionada con la definición y prototipado de arquitecturas futuras hacia las cuales puede evolucionar Internet sin perder la fuerza del diseño inicial (que ya se sabe que es *escalable, fiable y capaz de evolucionar*). Muchas de las características funcionales de esta arquitectura han sido desarrolladas en el contexto del *Proyecto NewArch: Future-Generation Internet Architecture*⁵³, un proyecto financiado por DARPA (Agencia de proyectos de investigación avanzada de Defensa, en el Departamento de Defensa). El *Proyecto NewArch* ha fijado el objetivo de proponer un replanteamiento desde cero de la arquitectura de Internet, como respuesta a la aparición de nuevos requisitos, y de realizar síntesis creativas y coherentes de nuevas ideas para el cambio de arquitectura que ha estado “en el aire” estos últimos años, especialmente en las universidades y en

⁵² O motivada por el objetivo de proporcionar soluciones ad hoc muy específicas a problemas muy específicos – cuando dichos problemas aparecen.

⁵³ Arquitectura de Internet de Nueva Generación, ver: <http://www.isi.edu/newarch/>

la comunidad de ingeniería de Internet. En efecto, ha conseguido proponer un anteproyecto de plan para la evolución de Internet (incluye: definición de requisitos, diseños de arquitectura, así como algunos de los protocolos necesarios para realizar la arquitectura) que pueden constituir una cierta base para una Internet de mayor valor comercial y militar⁵⁴. Resumiendo los resultados de NewArch, los investigadores del proyecto explican que su trabajo “no llevó a un rechazo de la naturaleza fundamental de Internet – un servicio basado en paquetes de longitud variable de transporte de datos independiente de la aplicación... El diseño básico es sólido, ha pasado la prueba del tiempo y será útil en el futuro. Sí es cierto que llegamos a la conclusión de que muchos de los atributos asociados con este servicio básico de paquetes debían ser re-examinados, incluyendo la premisa de los datagramas, el direccionamiento global, el vínculo entre ubicación e identidad y la transparencia universal” [54].

DARPA apoya este tipo de visión sobre el futuro de Internet. En un discurso que se dio en el Simposio DARPAtech 2004, T. Gibson abogaba por la necesidad de un cambio “revolucionario” que debería implementarse en el corazón de Internet: “El paradigma de la red de paquetes... necesita cambiar... Debemos tener obligatoriamente un mecanismo para asignar capacidades a distintos usuarios, que sea escalable automáticamente hasta un gran número de dispositivos... Las redes de hoy en día son estacionarias... los nodos (móviles) deberían ser capaces de identificarse automáticamente en las redes de sus inmediaciones...” [55]⁵⁵. Asignar capacidades a distintos usuarios, i.e. la prioridades de prioridades, ciertamente está relacionado con la capacidad de (el “núcleo” de) la red a la hora de identificar qué intenta hacer el usuario y comportarse adecuadamente. El asunto es, de nuevo, el papel de la red, pero visto ahora desde la perspectiva de la aplicación. Esto requiere que la actividad de resolución de problemas se aleje del “viejo” enfoque determinista que identifica calidad de servicio con ingeniería de tráfico y “garantiza” una aplicación distinta a diferentes clases de servicio. Los nuevos enfoques se concentran en diseñar mecanismos cognitivos que puedan enfrentarse con “fallos de red”: I) determinando por qué una comunicación (entre programas de aplicación ejecutándose en sistemas finales) está fallando, y II) reconstituyendo, desde el “final” el estado de comunicación “fallida”. El santo y seña de la nueva jerga de red es “Plano de Conocimiento” (Knowledge Plane) y buena parte del debate ahora es cómo inyectar cognición en la Red mediante la implementación de un subsistema de soporte de estado ligero dentro de la arquitectura de Internet.

El *Plano de Conocimiento* es la esencia de la nueva arquitectura definida por el *Proyecto NewArch*. El *Plano de Conocimiento* es una respuesta particular a las necesidades en

⁵⁴ Para una visión general algo más detallada de la arquitectura y los protocolos NewArch, ver referencias [19] y [54]. El resumen de los cambios necesarios en la Internet actual y la visión dominante de lo que la Internet futura debería ser y cómo llegaremos ahí, se encuentran descritos en tres documentos publicados entre 2000 y 2003, ver referencias [39], [47] y [48].

⁵⁵ Para un debate muy apropiado sobre los argumentos de DARPA y comentarios y conceptos que profundizan en esta dirección, ver la presentación de E. Gelenbe (Imperial College), “The Cognitive Packet Network”, en el Seminario Dagstuhl, Cognitive Networks and Radios, octubre de 2004, ver: <http://www.dagstuhl.de/04431/>

aumento de las aplicaciones en un *servicio de red* mejorado sin “destruir”, según D. Clark y sus colegas⁵⁶, *el modelo de transporte transparente de datos*, incorporado en el diseño original de Internet y principal factor del éxito de las aplicaciones innovadoras de Internet [56]. Es un componente distribuido de la red, implementado como un nivel de software independiente que recolecta información de los nodos finales sobre lo que debería estar pasando; recolecta información del “núcleo” de la red y sobre lo que está ocurriendo; procesa esta información para poder identificar problemas de comunicaciones (fallos de red) emergentes; inicia conversaciones con el usuario sobre la naturaleza de estos problemas y corrige los fallos a la vez que aprende de experiencias pasadas.

CUADRO 5 *El Plano de Conocimiento.*

“Motivación: ¿Para qué puede servir el plano del conocimiento? He aquí dos ejemplos para ilustrarlo. Ejemplo uno: Cuando una parte de Internet falla, es casi imposible para el usuario final saber qué ha ocurrido, deducir quién debe ser notificado o qué hacer para corregir el fallo. Imagine un programa (lo llamamos el programa ‘por qué’) que un usuario puede ejecutar cuando algo de la red o de una aplicación en red parece no funcionar. El programa ‘por qué’ empieza con una componente que se ejecuta en un nodo final y realiza un diagnóstico cuando hay un fallo. El diagnóstico puede comprobar funciones de todos los niveles, desde el reenvío de paquetes a funciones de aplicación.

Una vez el nodo final ha realizado el diagnóstico que le es posible, la siguiente etapa consiste en que la herramienta añada aserciones al plano de conocimiento compartido sobre lo que ha descubierto y que pida información relevante al plano de conocimiento. Esta contribución al plano de conocimiento permite a todos los usuarios de la red construir colectivamente una visión global del estado de la red y el servicio. Usando esta información, esta herramienta daría al usuario una explicación de lo que ha fallado en términos que tengan sentido para él y también información al operador de red en sus propios términos. Los operadores de red tienen la opción de añadir hechos adicionales al plano de conocimiento sobre fallos conocidos; según el ideal, un usuario que se tropieza con un problema puede que no sólo reciba información de diagnóstico, sino también información del proveedor sobre cuándo estará resuelto el problema.

Ejemplo dos: El encaminamiento dinámico de la Internet original no tuvo en cuenta las limitaciones administrativas y políticas, así que el encaminamiento actual está más y más definido por tablas de políticas configuradas manualmente. Las tablas estáticas y configuración manual hacen a la red frágil e inclinada al fracaso, difícil de cambiar y más difícil aún de razonar globalmente. Imagine un gestor distribuido de configuración para una región de Internet que aceptase aserciones de alto nivel, a nivel administrativo, sobre cómo los componentes de la red deben ordenarse por sí mismos y que guiase la configuración real detallada de manera acorde. Varios ejemplos son el control del despliegue de una red de consumidor en casa, una red ad hoc dando soporte a una fuerza de despliegue rápido, o una red para un pequeño negocio.

El gestor distribuido debería tener suficiente comprensión de la configuración de bajo nivel como para detectar si la red está configurada correctamente de acuerdo a las limitaciones de alto nivel, detectar si hay disponible una configuración alternativa mejor y detectar si el sistema parece estar corrupto. El sistema debe ser capaz de tratar diferentes aserciones hechas por partes distintas e integrarlas o detectar que son contradictorias. La realización con éxito de este proyecto podría llevar a una reducción notable en la mano de obra necesaria para configurar y operar redes.

Los anteriores intentos de hacer “gestión de red de alto nivel” no han tenido mucho éxito; una posible razón es que los proyectos anteriores no han sido capaces de encontrar las abstracciones de alto nivel correctas. La hipótesis necesaria es que existen maneras adecuadas para abstraer un comportamiento detallado y hablar de objetivos, planes, limitaciones y métodos a alto nivel. El plano del conocimiento es mucho más que una base de datos de hechos – es una construcción que engloba herramientas cognitivas y de aprendizaje”.

Fuente: D. Clark et al. (<http://www.csail.mit.edu/research/abstracts/abstracts04/html/114/114.html>):

El reto de cara a desarrollar dicho Plano de Conocimiento, de forma separada (y sobre) los planos existentes (de datos, de control, de gestión) es inmenso, como lo son las

⁵⁶ El MIT Laboratory for Computer Science (MIT LCS) lidera el proyecto Knowledge Plane (Financiado por: DARPA, participan: 11 laboratorios y universidades, fecha de finalización prevista: 2010).

dificultades prácticas a la hora de implementar un nuevo nivel en la arquitectura de Internet. Pero la idea de desarrollar un nivel cognitivo (que se apoye en la ciencia cognitiva y los logros de la IA más que en los enfoques algorítmicos tradicionales) que haga posibles redes autoadaptativas y aplicaciones que se ejecuten en el Plano de Conocimiento, llamadas aplicaciones de Plano de Conocimiento (K-apps en el inglés original), es especialmente potente. La “Cognición” puede llenar el hueco entre aplicaciones e infraestructuras de red iniciando un “proceso de conversación” entre ellas. Como se indicaba anteriormente, en el diseño inicial de Internet, las aplicaciones y las infraestructuras de red estaban separadas mediante un nivel IP de cobertura y esta separación ha aprovechado oportunidades de innovación sin precedentes. Ahora las redes cognitivas emergentes “vuelven a integrar” la funcionalidad de red en las condiciones de las aplicaciones, en un marco completamente nuevo que introduce una re-distribución de tareas. Las redes pueden interactuar con las aplicaciones para hacerlas más eficaces. Esta interacción parece una conversación: las redes entienden, y aprenden, de lo que las aplicaciones quieren lograr y las aplicaciones saben cómo explorar las capacidades (variables) de la red. No hemos usado sin motivo la palabra “conversación” para ilustrar el proceso interactivo entre aplicaciones e infraestructuras de red implementadas por la red cognitiva. En otros dominios también, desde automóviles hasta sistemas de información complejos para uso comercial y de defensa, esta “acción de diálogo” da soporte a un diseño y fabricación de producto eficaz, cuando los modelos de especialización flexible son aplicables⁵⁷.

CUADRO 6 *La visión de DARPA sobre la red cognitiva.*

C. Ramming [59]: “Los sistemas basados en modelos han permitido a las naves espaciales operar en circunstancias imprevistas sin la necesidad de la intervención humana. Podemos sacar provecho de esos resultados. Pero quedan también por explorar enfoques distribuidos de una manera más fundamental. Uno es la estigmergia, un concepto inspirado en la biología que aprovecha la relación entre un agente y su entorno. Otro es el fértil terreno de la teoría algorítmica de juegos, que puede proporcionar mecanismos para entender cómo los agentes llegarán a un punto óptimo de un sistema estable. Necesitamos sus ideas sobre cómo estos avances ya realizados pueden aplicarse a las redes cognitivas a corto plazo y buscamos también ideas que posibiliten grandes avances para permitir el aprendizaje y el razonamiento sobre redes y sistemas distribuidos. Es necesario unir todas estas áreas de investigación en una arquitectura principal para la gestión de red: una que sea aplicable no sólo como una solución puntual a un problema, sino como una nueva estructura general que evolucione con elegancia, como hace la red subyacente, y que quizás incluso sea aplicable a más de un tipo de red. A día de hoy no hay una sola comunidad capaz de hacer posible esta arquitectura y el trabajo de la red cognitiva...”

La comunidad cognitiva está absorbiendo la experiencia con sistemas distribuidos a gran escala, la cual es la competencia esencial de la comunidad de la red. En cambio, ésta está absorbiendo la historia y la experiencia con aprendizaje y razonamiento, y arquitecturas cognitivas. Lo que surge será una universidad invisible que combine los conocimientos de ambos campos para lograr resultados nuevos y notables.

En el área de las redes cognitivas, estamos vigilando objetivos que amplían intrínsecamente nuestra comprensión de las técnicas cognitivas. En última instancia, llegaremos a las soluciones generales de al menos dos aspectos importantes de la gestión de red – configuración y gestión de fallos...”.

⁵⁷ Ver nota 32. Para más detalles, ver el reciente trabajo de M. Piore [57, 58] sobre la integración de componentes (i.e. “la última y, en muchos sentidos, menos interesante etapa en el proceso de resolución de problemas”) en condiciones de incertidumbre radical. Basado en casos de estudio de varias industrias, Piore y sus colegas reconocen en el proceso de integración características de una coordinación creativa y abierta lograda a través de la conversación. Las conversaciones entre participantes de proyectos de industria (entre y dentro de equipos de proyectos) y en el contexto de un proceso interpretativo, “generan un marco para la acción que es como un lenguaje...”.

En Europa, el concepto de redes cognitivas también atrae un interés científico mayor⁵⁸. Las redes con capacidades de autogestión y auto-adaptación se entienden aquí bajo el término más genérico de “comunicaciones autónomas”. Un grupo de expertos europeos ha identificado las Comunicaciones Autónomas como un área importante para la investigación y el desarrollo futuros, en el contexto de una consulta sobre nuevos paradigmas de comunicación para 2020 [60, 61, 62]. Se ha lanzado una convocatoria de la comunidad FET sobre “Comunicaciones Autónomas y Localizadas” (FP6, 4ª convocatoria general de IST, marzo de 2005)⁵⁹ con el objetivo de “promover la investigación en el área de nuevos paradigmas para los sistemas de comunicación / de red que pueden describirse como localizados (i.e. que reaccionan localmente a cambios de entorno y contexto), controlados de forma autónoma, auto-organizativos, distribuidos radicalmente, independientes de la tecnología y libres de escala... En consecuencia, las redes / comunicaciones deberían pasar a estar guiadas por las tareas y el conocimiento y ser totalmente escalables”.

CUADRO 7 *Comunicaciones Autónomas.*

“Fundamentación: Los recientes avances en tecnologías y redes de comunicación y la forma en que se están integrando en el marco humano social y laboral han hecho evidente que hay un número de áreas técnicas y socioeconómicas relacionadas cuya comprensión es todavía deficiente y en las que es necesaria la investigación a largo plazo. En general, puede observarse un engranado cada vez más denso de componentes de sistemas de comunicación y el consiguiente aumento de la complejidad del control, que requiere cada vez más estructuras distribuidas y auto-organizativas, apoyándose siempre en elementos simples y fiables, capaces de colaborar para producir comportamientos sofisticados. La característica principal de los paradigmas de comunicación futuros será la capacidad de adaptarse a una situación en proceso de evolución, donde nuevos recursos pueden estar disponibles, los dominios administrativos pueden cambiar y los modelos económicos pueden variar adecuadamente. La visión es la de un mundo impregnado por instalaciones de comunicación ubicuas, que ofrecen sus servicios a los usuarios y son capaces de auto-organizarse y auto-preservar sus funcionalidades sin intervención humana directa. Esto supone unos avances fundamentales tanto en la arquitectura como en la funcionalidad de la red y en la caracterización y la comprensión del medio de comunicación común”.

Fuente: Comunicaciones Autónomas Localizadas (<ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/fet/comms-60.pdf>).

Los proyectos relacionados con la el área de investigación de las Comunicaciones Autónomas (AC) deberían comenzar en 2005, así que no es posible evaluar, en la práctica, la capacidad de la iniciativa a la hora de proponer un marco de arquitectura para Internet de Nueva Generación (o sus ramificaciones móviles e inalámbricas). Es ciertamente una cuestión de ver si los proyectos de AC mostrarán una ambición de influir en las transformaciones de Internet o si, persiguiendo objetivos algo más generales, tarde o temprano se moverán hacia la exploración de los problemas de la red post-Internet⁶⁰. Aun así, el debate entre los enfoques de *Comunicaciones Autónomas* y

⁵⁸ Cabe notar en este sentido el interesante trabajo del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Imperial College (Grupo de Redes y Sistemas Inteligentes) y, particularmente, de E. Gelenbe. Para una comprensión más general de la comunidad europea de redes cognitivas, ver el Workshop “Cognitive Networks and Radios”, organizada por Dagstuhl (<http://www.dagstuhl.de/About/index.en.html>) – ver también la nota 18. El concepto de redes cognitivas está relacionado con un trabajo previo sobre SDR / radio cognitiva, que ahora se ha generalizado para producir nuevos paradigmas de red.

⁵⁹ Las Tecnologías Emergentes y Futuras (FET) apelan a “Comunicaciones Autónomas y Localizadas (COMS) – Paradigmas de Comunicación para 2020 (<http://www.cordis.lu/ist/fet/comms.htm>).

⁶⁰ Ver, por ejemplo, las opiniones muy divergentes al respecto de I. Stavrakakis y H. Zimmerman en la inauguración y reunión del Foro sobre Comunicaciones Autónomas (<http://www.autonomic-communication-forum.org/im/index.html>).

Plano de Conocimiento ya ha empezado y las posibilidades de convergencia parece estar en el aire⁶¹. Lo que es más seguro es que con esta iniciativa, se irá formando progresivamente una comunidad de “red auto-adaptativa” europea.

Recomendación: La red cognitiva y el diseño y desarrollo de estructuras de red con capacidades auto-adaptativas (a las necesidades de las aplicaciones de Internet) pueden convertirse en una línea de investigación muy fuerte en el futuro. Se espera que sea la componente básica de la arquitectura de Internet de Nueva Generación. La investigación en el área clave de Diseño de red y nuevas arquitecturas para Internet, y en particular en el tema de la red cognitiva y la interacción entre redes y aplicaciones en el contexto de redes auto-adaptativas con capacidades de aprendizaje, es de gran importancia para la vitalidad y mejora de Internet. Más aún, la investigación en la arquitectura de la Internet futura se espera que proporcione un apoyo estratégico y que aproveche las oportunidades de la fertilización cruzada de proyectos existentes y futuros de la UE en las siguientes áreas estratégicas para el diseño de red: *redes activas, plano de control y gestión, redes ad hoc inalámbricas y redes de sensores, redes Grid y redes distribuidas a gran escala*; finalmente beneficiará a los proyectos que traten el tema crítico de la *interoperabilidad entre distintos modos* en una situación permanentemente heterogénea (conmutación de paquetes en Internet, redes móviles, redes ad hoc inalámbricas, redes de sensores, etc.)⁶².

⁶¹ Ver: 19th International Joint Conference on Artificial Intelligence (XIX Conferencia Conjunta Internacional sobre Inteligencia Artificial), Edimburgo, julio-agosto de 2005, “Workshop on AI and Autonomic Communications: Developing a research agenda for SelfManaging Networks and the Knowledge Plane” (<http://www.infj.ulst.ac.uk/~acomms/ijcai-05/>).

⁶² Clusters y proyectos de INFSOD1 projects and clusters (http://www.cordis.lu/ist/directorate_d/cnt/proclu/p/projects.htm), Proyectos de red GRID (<http://www.cordis.lu/ist/m/grids.htm>) y los proyectos de la comunidad de TFE DELIS y EVERGROW (<http://delis.upb.de/> y <http://www.evergrow.org>): éstos son ejemplos de proyectos de investigación que podrían beneficiarse de, y contribuir a, una iniciativa de investigación en nuevas arquitecturas para Internet.

4.2 Modelos para la comprensión de las redes actuales y futuras

Tanto la investigación básica como la aplicada y de alto nivel que están relacionadas con esta área, responden al reto de medir y modelar: Internet, la Web, las crecientes redes P2P y locales (inalámbricas, ad hoc, de sensores, etc.), las redes ciber-sociales formadas por los usuarios de las aplicaciones de Internet. Las medidas y el modelado de la red resultan algo crítico para la comprensión de la organización descentralizada de Internet y su estructura multi-capa, su comportamiento dinámico y sus patrones de rendimiento y crecimiento. Evidentemente, según Internet se va convirtiendo en una parte integral de la vida diaria y van apareciendo nuevos usos para ella (estimulados por el desarrollo de nuevas aplicaciones como las de tiempo real, i.e. voz sobre IP, y la convergencia de Internet con las redes móviles e inalámbricas), aumenta el interés en las técnicas de medida y modelado de la red⁶³.

Hay razones científicas evidentes para motivar el incremento del interés por la investigación en este campo. Internet y la World Wide Web son casos arquetípicos de redes auto-organizadas a gran escala que traen fenómenos emergentes y nuevos retos para el modelado de la formación de redes, su estabilidad y su evolución. Una de ellas merece comentarse aquí. Internet consiste en muchas partes interdependientes, en su mayoría routers (y switches) que redirigen tráfico, redes (o Sistemas Autónomos⁶⁴) y capas, con el principal problema de “cómo conseguir que esas partes trabajen juntas y consigan un rendimiento razonable”. Éste es un problema de coordinación que implica, al menos, dos temas de investigación importantes: I) identificar (y explicar) las relaciones causa-efecto presentes en estructuras de grafo de ingeniería a gran escala y II) buscar cómo se puede conseguir el orden (a pesar de la gran diversidad) en Internet (y la Web). Las teorías y modelos de red son herramientas que tratan estas cuestiones.

En términos generales, los modelos de red son muy útiles: I) en estudios de red analíticos y basados en simulaciones que traten el rendimiento de los protocolos de red (de hecho, la topología a veces tiene un gran impacto en el rendimiento de los protocolos de red), II) en la mejora del rendimiento de red a través de nuevos algoritmos, y III) en ingeniería de red. Más aún, el conocimiento del comportamiento de la red pudo ayudar a los profesionales a la hora de optimizar la asignación de recursos físicos, como los servidores de aplicación, routers, switches y líneas arrendadas (la topología de la red puede tener un gran impacto en cómo trabaja un

⁶³ IEEE Internet Computing ha publicado recientemente una colección de interesantes documentos sobre prácticas y técnicas y próximos retos con respecto a la Medición de Internet. Para más detalles sobre estos documentos, ver la referencia [63].

⁶⁴ Cada sistema autónomo (AS, Autonomous System) es una colección de routers y enlaces bajo un mismo dominio administrativo. Una red de universidad, una red local, una red de un ISP forman un AS.

protocolo de red en la práctica); también ofrece herramientas a la comunidad de la red para afrontar la creciente polución de infraestructuras, i.e. virus, gusanos y spam, y posiblemente controlar esta polución de red y ‘capturar’ el tráfico de ataque. Una fundamentación similar es aplicable a la Web también: modelar la Web puede proporcionar bastante conocimiento de la naturaleza de los procesos de propagación de la información en la Web y dar alguna explicación para la formación de ciertas estructuras en la red⁶⁵.

Esta investigación ya está teniendo un impacto en el modelado de Internet y la Web. Muchas de las redes que proporcionan conectividad entre componentes individuales (nodos), tanto si son máquinas en el grafo de nivel de router, subredes enteras (Sistemas Autónomos) en el grafo de nivel de AS (que representa la interconectividad entre subredes)⁶⁶, o páginas y sitios web en el grafo de nivel de Web, muestran la llamada propiedad de red libre de escala [66, 67, 68]⁶⁷. Esto implica distribuciones de cola pesada a nivel de nodo, i.e. nodos con un gran número de conexiones a otros elementos (hubs) a través de los cuales el tráfico debe pasar necesariamente. En términos matemáticos, estas distribuciones de cola pesada pueden ajustarse a leyes de potencias, que es una distribución (de grados) en la que la probabilidad de que un nodo dado tenga exactamente k enlaces sigue la relación $P(k) \sim k^{-\gamma}$, siendo γ el exponente de grado [67]. Las técnicas basadas en leyes de potencias son un claro contraste frente a los anteriores enfoques basados en *redes aleatorias* para modelar redes complejas (en una *red aleatoria*, el grado de los nodos sigue una distribución de Poisson, lo cual indica que la gran mayoría de nodos tienen el mismo número de enlaces, aproximadamente tantos como el grado medio de la red – un modelo que evidentemente no puede explicar las propiedades de la topología de Internet y de la Web).

⁶⁵ De hecho, la Web parece estar en un espacio muy bien organizado, con comunidades densamente vinculadas de páginas y sitios web relacionados temáticamente [64], que forma una estructura compuesta de tipo lazo de pajarita [65]: “El ‘nudo’ de la pajarita, llamado el SCC (Strongly Connected Component, Componente Fuertemente Conectado), representa un único gran componente, fuertemente conectado. El ‘lado izquierdo’ de la pajarita, llamado IN (dentro), está definido como todas las páginas que no están en el SCC pero de las cuales parte alguna ruta hacia algún nodo del SCC. Puesto que la ruta a algún nodo del SCC implica una ruta a todo nodo del SCC, un navegante que esté empezando en alguna página de IN puede llegar a cualquier página del SCC... De manera similar, otro gran conjunto de páginas forma el ‘lado derecho’ de la pajarita. Este conjunto recibe el nombre de OUT (fuera) y tiene la propiedad de que cualquier página de OUT es accesible desde cualquier página del SCC siguiendo hiperenlaces, pero ninguna página del SCC resulta accesible desde ninguna página de OUT siguiendo hiperenlaces. Un navegante que empiece en una de estas páginas se quedaría estancado rápidamente y sería incapaz de seguir explorando más. Se pueden ver estas páginas como internets corporativas que son conocidas pero cuyos enlaces apuntan sólo hacia el interior. Así, en este modelo siempre es posible navegar por la pajarita de izquierda a derecha, pero no en sentido contrario: desde las páginas de IN un navegante puede alcanzar el SCC y puede continuar hacia las páginas de OUT, pero una marcha en el otro sentido no es posible siguiendo enlaces. Finalmente, hay una cuarta región, los ZARCILLOS, que consiste en páginas que no enlazan con el nudo y que no resultan accesibles desde el nudo...”.

⁶⁶ El grafo AS es de alguna forma el equivalente de una red de transporte jerárquica que conecta ciudades grandes con pequeñas, en la que los nodos de los ISPs se organizan en “filas” y las conexiones entre nodos corresponden a enlaces a través de los cuales se encaminan paquetes. Cabe notar que este grafo deriva de las tablas de encaminamiento BGP (mientras que el grafo a nivel de router viene de medidas hechas con *traceroute*).

⁶⁷ De acuerdo con parte de la literatura, el reconocimiento de una topología con hubs es relevante a la hora de entender la solidez de Internet frente a daños, pero también explica su vulnerabilidad ante ataques malintencionados cuando el blanco son estos nodos con un grado de alto vértice (el talón de Aquiles de la red).

CUADRO 8 *Topologías y medidas de red*⁶⁸.

Red: Una red es un conjunto de elementos llamados vértices, o a veces nodos, con conexiones entre ellos, llamadas aristas.

Dirigida/no-dirigida: Una arista está dirigida si es de una sola dirección y no-dirigida si es de doble dirección. Las redes compuestas por aristas dirigidas se llaman a su vez grafo dirigido.

(Nodos) Grado entrante: El número de aristas que entran en un vértice.

(Nodos) Grado saliente: El número de aristas que dejan el vértice

Red libre de escala: Red con una distribución de grados que sigue una ley de potencias; la probabilidad de que un nodo tenga k enlaces cumple $P(k) \sim k^{-\gamma}$, donde γ es el exponente de grado.

Coefficiente de clustering o Transitividad: La probabilidad media de que dos vértices que son vecinos de red del mismo vértice sean vecinos entre ellos [notar que muchas redes reales que muestran propiedades libres de escala muestran también una gran transitividad y, consecuentemente, propiedades de “mundo pequeño”, señal de una estructura compuesto, con clusters de nodos indirectamente interconectados, pero fuertemente entrelazados].

Red jerárquica: Una red organizada dentro de muchos pequeños módulos topológicos altamente conectados que se combinan jerárquicamente para formar unidades más grandes de menor cohesión y cuyo número y grado de concentración o transitividad sigue una ley de potencias.

La facilidad para recolectar datos de Internet y medidas relacionadas con la Web, y el descubrimiento de un regularidad libre de red, han llevado rápidamente hacia una primera generación de modelos que intentan reproducir la estructura en evolución de la red. Toman principios y técnicas de la física estadística y de los sistemas auto-organizados. En el más popular de ellos, el llamado modelo Barabasi-Albert (BA) [67, 71], la estructura de red (libre de escala) se considera el resultado de un proceso de crecimiento interno con tres facetas principales: I) la expansión de la red a través de acumulación de vértices – Internet y la Web evolucionan, con el tiempo, incrementalmente añadiendo nuevos nodos y nuevos enlaces a la estructura de grafo existente, II) el acoplamiento preferencial de nuevos vértices a nodos con un número de enlaces ya grande (i.e., un grado alto de vértice), en el sentido de que la probabilidad de que un vértice dado reciba una arista es proporcional a la conectividad acumulada de ese vértice (o el fenómeno de “los ricos se hacen más ricos”)⁶⁹ y III) el recableado de red como un proceso “local” para retirar enlaces (aleatoriamente) y sustituirlos con otros nuevos⁷⁰.

De forma similar, para explicar otra regularidad fascinante de la topología de Internet, esta vez a nivel de tráfico de red, i.e. su comportamiento auto-similar de escalado (esto es, a grosso modo, el comportamiento de un proceso de tasa de tráfico⁷¹, medido frente una escala temporal en un enlace de Internet y conservado independientemente

⁶⁸ Ver referencias [67], [69], [70].

⁶⁹ Un mecanismo parecido para el crecimiento de red, llamado copia, proponen R. Kumar et al [72]. En esta historia, algunos vértices eligen sus aristas salientes independientemente y al azar, pero otros vértices duplican patrones de enlace existentes “copiando” aristas de un vértice elegido aleatoriamente.

⁷⁰ W. Aiello et al [73] proponen un enfoque “radicalmente” alternativo para generar grafos de ley de potencias que resulta más estructural que evolutivo. Implica un modelo de grafo aleatorio pero con una secuencia de grados prescrita que sigue una ley de potencias.

⁷¹ Número de bytes que atraviesan un enlace por unidad de tiempo.

de la escala de tiempo o espacio)⁷², se han propuesto inicialmente modelos de tráfico semejantes a dinámicas basadas en la criticidad [74, 75].

Resumiendo, la atribución de propiedades típicas red libre de escalas a Internet y la Web significa, en esencia, que estas redes tienen una arquitectura “macroscópica” caracterizada por una distribución de conexiones de cola pesada. Pero la mayor parte de las veces, aunque esta distribución siga una ley de potencias, no es fácil, como explican S. Dorogovtsev y J. Mendes [76], comprobar empíricamente si la distribución es exactamente de ley de potencias o no. Por ejemplo, existen pruebas sólidas de que la evolución de la conectividad de los AS (donde AS son las subredes de Internet) basada en reglas del modelo BA no concuerda con las medidas empíricas tomadas del crecimiento de los AS [77]. Por supuesto, cualquier distribución que tomemos de Internet y la Web en realidad mostrará una alta varianza que necesita una explicación. Pero ¿está generada por un mecanismo “microscópico” como el del acoplamiento preferencial?

Es evidente que el acoplamiento preferencial, especialmente tal y como se describe en versiones posteriores, matemáticamente más elegantes, del modelo BA [76, 78], resulta en un crecimiento de red alimentado por la conectividad, producido por un proceso auto-organizado. Aun así, el modelo de acoplamiento preferencial no consigue explicar dos características muy importantes de las redes de información actuales:

- Rendimiento de red de Internet: las arquitecturas basadas exclusivamente en la “suposición primitiva” del acoplamiento preferencial, cuando se implementan experimentalmente, obtienen un rendimiento terrible, lo cual evidentemente no es el caso de la Internet real [77, 79]
- El rápido crecimiento de sitios web: los sitios web populares crecen rápidamente; por ejemplo, Yahoo!, AOL, eBay y Amazon han construido, tal y como informa la empresa de consultoría Morgan Stanley [80], algunas de las marcas de mayor crecimiento y valor de la historia, consiguiendo ese status de manera relativamente poco costosa. No es posible conseguir semejante ritmo de crecimiento en cuanto a nodos de la red sin asumir algo más “concreto” que el acoplamiento preferencial, como los comportamientos que inducen reacciones positivas en el proceso de la competencia entre sitios web por la cuota de mercado [81].

Para traspasar las barreras que imponen estos modelos de la primera generación, de modo que sea posible proporcionar explicaciones físicas más cercanas a la realidad de la estructura general de la red, últimamente han aparecido nuevas consideraciones: I) crear otras métricas aparte de la distribución del grado, II) incorporar en los mecanismos de despliegue y crecimiento de la red tecnología y limitaciones económicas [82] y, quizás,

⁷² De hecho, los resultados empíricos muestran que el tráfico de Internet va a ráfagas y tiene un comportamiento fractal sobre una gran variedad de escalas de tiempo.

suposiciones de conducta para captar las actitudes de las principales partes interesadas (ISPs, sitios web, consumidores). En esta línea, se ha desarrollado una *segunda generación* de modelos con el objetivo no sólo de reproducir las propiedades locales del grafo de Internet y de la Web (como la propiedad de “escalado”), sino también de crear topologías de red *in vitro* que concuerden con la realidad y sean capaces de proporcionar un conocimiento sobre la estructura jerárquica a gran escala de Internet y la Web. Aunque esta dirección no viene de la comunidad científica de redes que se ha formado alrededor del modelo BA, sí se ve reflejada en visiones más recientes de esta comunidad. En un “mesa redonda virtual” que comenzó durante una Conferencia de expertos en Roma en 2003⁷³, se ha admitido que la red proporciona sólo el sustrato sobre el cual debe desarrollarse el comportamiento dinámico de un sistema: *“La dinámica, el tráfico y la topología subyacente están, por lo tanto, mutuamente correlados y es muy importante definir cantidades y medidas apropiadas, capaces de captar cómo participan todos estos ingredientes en la formación de redes complejas”* [53].

Para ser más precisos, estos nuevos enfoques más bien buscan modelar estructuras complejas en términos de compromisos entre los objetivos y las limitaciones inherentes al sistema, lo cual está basado en los principios de los modelos de tipo HOT (Highly Optimized Tolerance –tolerancia altamente optimizada- o de Compromisos) [20]. En un contexto inspirado en modelos HOT, el llamado modelo FKP [83] propone un modelo (aleatorio) de árbol de generación que crece incrementalmente en el sentido de que cada nodo nuevo está conectado a un nodo pre-existente para que se pueda minimizar el compromiso entre coste y eficacia (de esa forma los nodos que acaban de llegar tienen más posibilidades de tener un grado alto y un coste de salto pequeño). Aplicado al grafo de Internet, este modelo parece obtener un buen resultado, que prueba la relevancia de esta optimización multi-criterio para explicar distribuciones de Internet de cola pesada [84].

Más aún, otro modelo de red (HOTnet) [82], basado también en el enfoque HOT, que se aplica a grafos de Internet a nivel de router y realizado para incorporar los compromisos entre las capacidades de router y las consideraciones económicas de los ISPs en el proceso de diseño, consigue unas características y eficiencia de rendimiento de red, cercanas a las de las métricas reales de Internet (que las topologías basadas en el modelo BA no podían ofrecer). Al mismo tiempo, este modelo puede proporcionar conocimiento sobre las razones que están detrás de la heterogeneidad física de los nodos de Internet, constituidos por dos tipos de routers: routers de bajo grado ubicados en nodos de alta velocidad (núcleo) y routers de alto grado ubicados en nodos de bajo nivel (frontera).

⁷³ Entre los científicos que participaron en esta discusión se encontraban: A. Barrat (Univ. Paris-Sud), A.L. Barabasi (Universidad de Notre Dame), G. Caldarelli (Universidad La Sapienza), P. De Los Rios (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne), A. Erzan (Universidad Técnica de Estambul), B. Kahng (Universidad de California, San Diego), R. Mantegna (Universidad de Palermo), J.F.F. Mendes (Universidad de Aveiro), R. Pastor-Satorras (Universidad Politécnica de Cataluña), A. Vespignani (Orsay).

CUADRO 9 *Tolerancia Altamente Optimizada o de Compromisos (HOT).*

J. M. Carlson y J. Doyle [20]: El concepto de HOT fue introducido para concentrar la atención en los siguientes temas: “*Tolerancia*, enfatiza que la robustez en los sistemas complejos es una cantidad que debe ser gestionada y protegida cuidadosamente. *Altamente optimizada*, enfatiza que esto se consigue mediante configuraciones muy estructuradas, raras y no genéricas que son el resultado de un diseño deliberado o de evolución. Las características de los sistemas HOT son un alto rendimiento, una complejidad interna muy estructurada y, aparentemente, un comportamiento externo robusto, con el riesgo supuestamente remoto pero potencialmente catastrófico de fallos en cascada iniciados por perturbaciones posiblemente pequeñas”.

En un futuro cercano, estos dos enfoques de investigación diferentes (i.e. “criticidad auto-organizada” y “complejidad organizada”) aplicados al modelado de Internet, de la Web y de las transformaciones de red en general, ampliarán sus métodos y herramientas heurísticos y experimentales con más conocimientos teóricos – y posiblemente algún día converjan en la aceptación de que las redes de información pueden estar a merced de las fuerzas tanto de emergencia como de organización. Por el momento, la investigación se concentra cuidadosamente en aquello que dirige el crecimiento y el despliegue de la red. Como indicaban Li et al. [82], “ante la ausencia de una comprensión de los factores que dirigen el crecimiento y el despliegue de la red, es difícil identificar las fuerzas causantes que afectan a las propiedades de redes de gran tamaño y aún más difícil predecir las tendencias futuras en la evolución de la red”.

Finalmente, estos dos enfoques para el modelado de la complejidad de las redes de información no agotan las formas en que pueden emplearse nuestras teorías para entender y revelar los factores “más significativos” que dirigen esta evolución. Aparecen nuevos conceptos para mejorar la caracterización y comprensión de las estructuras de red emergentes, como por ejemplo el concepto de redes evolutivas ponderadas⁷⁴. Además, las estructuras de las redes sociales se han añadido, como capas adicionales, a nuestros *artefactos* para el modelado. Ha habido una pregunta generalizada, por parte de los científicos, sobre la influencia que pueden tener en la organización de Internet y de la Web las redes sociales de usuarios de Internet [86]. Los científicos descubren que los procesos sociales emergentes de autoría en Internet, como se observa en el fenómeno de los blogs, y las fuertes relaciones dentro de las comunidades (como los amigos de la mensajería instantánea) desarrolladas dentro de grupos cada vez más grandes de usuarios débilmente conectados a Internet, pueden tener un impacto significativo en la evolución de la topología de la Web.

Recomendación: Los datos reales, así como los modelos que intentan explicar la estructura y la evolución de las redes de información, son útiles no sólo para los investigadores sino para los ingenieros de seguridad y de tráfico, y para los ISPs y operadores de telecomunicaciones. La investigación en el área clave de Modelos para la

⁷⁴ Como informan A. Barrat et al. [85], los modelos ponderados no sólo consideran las estructuras topológicas sino que toman en cuenta la fuerza de interacción – el peso del enlace – que caracteriza las redes reales: “*es interesante que estudios recientes muestren que las redes ponderadas ofrezcan propiedades complejas adicionales, como las distribuciones amplias y las correlaciones no triviales de pesos que no tienen explicación sólo en términos de la estructura topológica subyacente*”.

comprensión de las redes actuales y futuras (Internet, la Web, las redes P2P, las redes locales inalámbricas, ad hoc y de sensores y, por supuesto, la red móvil) promete revelar los factores “más importantes” en la dirección de la evolución de las topologías. Esto incrementa nuestro conocimiento de diseño de arquitecturas y protocolos de red que dan un rendimiento y *usabilidad* de red mejorados. El campo del modelado de red aún es una disciplina en pañales, pero posee la clave principal de la evolución de la estructura de la Sociedad de la Información. Hay en Europa una fuerte base en áreas de ciencia y tecnología importantes para el modelado de las redes de información⁷⁵. Debería tener apoyo para crecer más rápidamente. Sin embargo, los logros científicos reales sólo vendrán de la reiteración continua de medidas, modelado y análisis. Así que un trabajo más interdisciplinar es necesario y se debería incentivar la interacción entre las comunidades de teorizadores e ingenieros y economistas de red. Más aún, en comparación con EEUU, Europa tiene buenas oportunidades para hacer uso de una cooperación inter-institucional y de medidas pensadas para el desarrollo de tecnologías de medición y proyectos de banco de pruebas para tratar las necesidades de medición. Las redes tecnológicamente avanzadas de universidades europeas podrían tener una participación mayor en este aspecto y tener un papel vital en la provisión de datos, la difusión de la investigación y la construcción de una comunidad de investigadores.

⁷⁵ Muchas universidades y centros de investigación han llevado a cabo actividades en el ámbito de Internet, la Web y el modelado de redes móviles. Las FET han apoyado, en el pasado, la investigación en el área de Crecimiento y Evolución de Redes, a través del proyecto COSIN FET OPEN (<http://www.cosi.org>) y, más recientemente, a través de los proyectos DELIS y EVERGROW (ver nota 62).

4.3 Ciberinfraestructura, redes digitales y economía de la información

Tanto la investigación básica como la aplicada de alto nivel que están relacionadas con esta área podrían contribuir al desarrollo de una ciberinfraestructura mejor y fomentar el desarrollo de redes digitales y nuevos tipos de organizaciones basadas en el conocimiento. “Ciberinfraestructura”⁷⁶ es el conjunto coordinado de conectividad, software, hardware y “tecnologías convergentes” que se requieren para dar soporte a las actuales actividades económicas, culturales y sociales dentro de la sociedad de la red, como definen M. Castells [88] y otros. La ciberinfraestructura proporciona una variedad de *artefactos* que incluyen: dispositivos y ordenadores potentes, instalaciones para almacenaje, minería y visualización; tecnologías para detectar, observar y controlar; gestión de la cadena de valor online y aplicaciones para la gestión de la relación con el cliente; gestión de contenido inter-personal, herramientas para la colaboración, decisión, etc. Habilitan y dan soporte a una amplia gama de redes digitales y apoyan su prevalencia como la forma organizativa de la nueva economía digital.

La tecnología digital se está dirigiendo fundamentalmente hacia los procesos económicos y sociales para convertirse en parte integral de ellos [89, 90]. A nivel de intercambio y producción, las redes digitales están conquistando los mercados físicos locales y los intercambios físicos. Prometen ofrecer productividad y crecimiento como “portadores” eficientes de conversaciones entre sistemas, procesos y funciones entre las empresas y dentro de ellas y entre negocios y clientes. Algunos ejemplos de redes digitales de empresa son: redes *business-to-business* y de *e-marketing* (lado de la oferta), redes subcontratadas, redes de subastas en la red, redes de realimentación del cliente (lado de la demanda), etc. Por otro lado, las redes P2P y las redes de información interpersonal emergentes (como muestran los fenómenos de Gnutella y Slashdot) se solapan con las redes sociales humanas, para ofrecer una mayor interactividad, exposición y oportunidades de influenciarse entre ellas. Además, están apareciendo nuevas formas de red como comunidades de blogs (donde los blogs de los miembros de la comunidad proporcionan enlaces incrementales hacia los demás y comentan sobre su contenido), que crean nuevas y originales formas de expresión individual y comunicación (pública) horizontal. Evidentemente, las redes digitales se corresponden

⁷⁶ El término se propuso en un Workshop NSF (NSF Workshop sobre Ciberinfraestructuras y Ciencias Sociales) para diseñar un “entorno digital extenso que sea interactivo y funcionalmente completo para las comunidades de investigación en términos de gente (pericia, conocimiento), datos, información, herramientas e instrumentos que operan a niveles de capacidad computacional, de almacenaje y de transferencia de datos sin precedentes” (cuyas facilidades darían soporte a los descubrimientos actuales y futuros en ciencia y tecnología). Esta visión puede extenderse para incluir no sólo las redes de investigación sino también todas las redes digitales que constituyen la textura de la Sociedad de la Información emergente y que dan forma a las sociedades y economías actuales y futuras. Estas redes digitales adecuan y modifican Internet y las otras tecnologías de la información para transformar las relaciones de producción, consumo y experiencia que concuerdan con los requisitos de la Era de la Información. Para más detalles sobre ciberinfraestructura, ver: <http://vis.sdsc.edu/sbe/> y la referencia [87].

con unas necesidades crecientes de la economía para gestionar la flexibilidad combinando la toma de decisiones coordinada y la ejecución descentralizada, a la vez que ayudan a una comunicación más abierta con mayor libertad de expresión en la sociedad, así como una colaboración ad hoc pero dominante [89]⁷⁷.

Sin embargo, cuando se mira al proceso de implementación organizativa de las redes digitales desde el interior, se pueden ver ineficiencias que siguen siendo importantes. El primer problema a la hora de realizar estas estructuras organizativas es que el nuevo modelo no es coherente internamente o no concuerda completamente con el entorno social y económico. Una de las quejas habituales está relacionada con el alto porcentaje de fracaso de los proyectos IT, especialmente los proyectos de negocio electrónico⁷⁸. Además, el debate es muy reciente en el terreno de la efectividad real de las inversiones en IT, que ha iniciado un libro bajo el título de *“Does IT matter?”* (“¿Importan las IT?”) [92]⁷⁹. A pesar de varios avances en el frente de la ciberinfraestructura, la dinámica de las redes digitales no se entiende adecuadamente más allá del dominio de los aspectos estrictamente tecnológicos. A esto tal vez se refiere P. David cuando dice que *“las que se suponen son las ‘partes débiles, es decir, los elementos socio-institucionales, son complementos necesarios de los componentes técnicos en la nueva infraestructura de la información digital, que apoyaría actividades colaborativas de muchos tipos”* [93].

Así que, apoyando la investigación de ciencias organizativas sobre redes digitales se puede crear un marco para afrontar las incertidumbres que impiden el aprovechamiento de las oportunidades de transformación de las redes digitales y fomentar el desarrollo de organizaciones virtuales y en red. Pero esto ciertamente requiere un programa de investigación interdisciplinar que debería ir más allá de los actuales enfoques de investigación centrados en la tecnología para motivar la formación real de comunidades con sentido entre ingenieros, informáticos, investigadores de ciencias organizativas, sociólogos y economistas, así como investigadores de ciencias cognitivas y del comportamiento – mientras que las universidades técnicas y los centros de investigación técnicos deberían recibir un incentivo para colaborar con escuelas de negocios y departamentos de universidades de ciencias sociales y del comportamiento.

Por supuesto, las redes digitales nunca habrían sido posibles sin la aparición de una ciberinfraestructura y no será eficiente en términos de flexibilidad y capacidad de adaptación cada vez mayores si esta ciberinfraestructura no evolucione con inversiones

⁷⁷ Para visiones más específicas de cómo interactúan los procesos de creación y organización de conocimiento basado en la red con la tecnología de la información, estrategia de negocio y condición social y económica variable, ver la conferencia *“Advancing Knowledge and the Knowledge Economy”*, organizada en enero de 2005, en Washington DC, por varias organizaciones internacionales (entre ellas la Comisión Europea – DG de investigación y la OCDE), ver: <http://www.advancingknowledge.com/index.htm>.

⁷⁸ La prensa de negocios y los informes de varias empresas de consultoría informan de un alto porcentaje de proyectos de habilitación de red, como los proyectos CRM (Customer Relationship Management) y SCM (Supply Chain Management), que no consiguen cumplir sus objetivos. Tal vez esta situación esté cambiando para mejor hoy por hoy [91].

⁷⁹ Ver también: <http://www.nicholasgarr.com/doesitmatter.html>

masivas. Este es otro programa de investigación importante que disfruta de un amplio consenso, en Europa y también en EEUU⁸⁰, al menos a dos niveles. Primero, la ciberinfraestructura necesita ser incrementada constantemente para dar soporte a nuevos modos de análisis de datos, técnicas avanzadas de comparación de datos, motores de visualización inteligentes, herramientas de comunicación y colaboración, etc. Segundo, la ciencia (incluyendo las disciplinas sociales y de conducta) puede ser el “laboratorio de la innovación” para construir nuevos tipos de redes digitales con capacidades de compartición a gran escala (como en el enfoque de las redes Grid), o con rendimientos de organización avanzada de la información para dar soporte a la publicación científica de esa información y a las comunidades de conocimiento (i.e. bases de datos de información con capacidad de búsqueda y con herramientas incorporadas para el análisis de datos); y para sostener formas de organización en grupo de tipo *always-on*, con motores inteligentes capaces de gestionar la presencia instantánea y los niveles basados en el rol de interacción mejorada entre individuos y grupos de individuos.

Terminamos nuestro análisis con la sugerencia clave de que debería seguir apoyándose⁸¹ la investigación en redes empresariales y en redes digitales científicas, y en formas de organizaciones habilitadas por la ciberinfraestructura (organizaciones virtuales o en red), y debería orientarse hacia nuevas líneas interdisciplinarias:

- Generar taxonomías de modelos organizativos innovadores (a varios niveles, empresa, administración pública y servicios gubernamentales, movimientos sociales, políticos y civiles) que son los que más probablemente aparecerán como un solapamiento de las redes digitales en la vida económica, cultural y social.
- Discutir asuntos de gobierno en redes digitales y dilucidar marcos técnicos y organizativos que demuestren ser eficaces y útiles para los participantes.
- Evaluar los “riesgos” asociados a la compartición extensiva de información entre los participantes en redes digitales, tal vez más allá de sus propias “estrategias de información” (filtrado de información)⁸² y examinar el impacto de esa información “filtrada” sobre los incentivos para participar en esas redes.

⁸⁰ Una versión actualizada de las visiones europeas sobre ciberinfraestructura (como “entorno potenciador del conocimiento”) está disponible gracias al Grupo de Investigación de e-Infraestructuras en el documento “e-Infrastructures Opportunities List” (disponible en: <http://www.e-irg.org/meetings/2005roadmap/OpportunitiesList.pdf>) – ver referencia [94]. Para un resumen de las iniciativas europeas en este sentido, que cubre los Programas Marco FP5, FP6 y proyectos subvencionados con dinero público, ver Grid Today (abril de 2005), W. Gentszsch, “Grid Computing: How Europe is Leading the Pack” (disponible en: <http://news.taborcommunications.com/msgget.jsp?mid=366726&xsl=story.xml>). Con respecto a la posición de EEUU sobre este tema, que está fuertemente orientada hacia “una investigación interdisciplinar, no sólo multidisciplinar”, ver: Atkins Report of the NSF Blue Ribbon Advisory Panel on Cyberinfrastructure (http://www.communitytechnology.org/nsf_ci_report/) – ver: referencia [95] y el Informe Final de la NSF Workshop sobre Ciberinfraestructura y Ciencias Sociales [87].

⁸¹ Se han tratado las organizaciones virtuales y los entornos de colaboración a través de los Objetivos Estratégicos del FP6 Strategic Objectives relativos a “Application and Services for the Mobile User and Worker”, “Networked business and governments”, “eLearning and Cultural Heritage” y “Products and services engineering 2010”.

⁸² K. Anand y M. Goyal [96] usan el término “filtrado de información” para materializar el hecho de que la información, voluntaria o involuntariamente, llegue a receptores no deseados.

- (Basado en lo anterior) Modelar la estructura y la evolución de las redes digitales⁸³, posiblemente con la aplicación de técnicas computacionales (ver más abajo).

CUADRO 10 *Las comunidades P2P en Internet.*

B. Buchanan y R. Dum [17]: “Como ilustran el funcionamiento de las redes P2P y la relación entre sistemas autónomos, Internet representa un nuevo entorno para la aparición de nuevas comunidades socio-tecnológicas de muchos tipos. Intentar fomentar la cooperación en dichas comunidades es un objetivo clave, pero también lo es la caracterización fundamental de la estructura y la evolución de dichas redes, que van desde los weblogs y las enciclopedias distribuidas (como la Wikipedia), a grandes fuentes autorizadas de documentación científica. Éstos y muchos otros recursos basados en la Web se definen implícitamente y crean redes sociales de usuarios, que producen, comparten y diseminan información de maneras completamente nueva, estando el comportamiento humano y el desarrollo tecnológico estrechamente relacionado. Detectar dichas comunidades es un objetivo clave. El término “comunidad” indica que hay un subconjunto de agentes que están topológicamente más conectados entre sí que con el resto de la red, a pesar del contenido semántico asociado a cada agente. La identificación de comunidades topológicas es un asunto crucial también para la investigación del efecto de la topología en los procesos de comunicación y asimilación, i.e. la aparición, desde una situación inicial heterogénea, de grupos de agentes que comparten el mismo contenido semántico. En los últimos años se han introducido diversos modelos de procesos de asimilación (difusión de cultura, normas, creencias) y de comportamiento, cuando evolucionan en entramados ordenados minuciosamente investigados. Un objetivo científico básico es el de hacer minería de la estructura interna de este tipo de sistemas sociales, desenterrando los principios que gobiernan su generación. Las propiedades de las redes sociales complejas están sujetas a una intensa actividad y la ciencia de la complejidad intenta tratar un buen número de preguntas fundamentales. Por ejemplo, ¿cómo es la interacción entre la estructura de red y las capacidades de comunicación? ¿Cómo ejerce la topología su influencia sobre la aparición y estabilidad de sistemas de comunicación? ¿Cuáles son los pre-requisitos, condiciones y consecuencias de redes de comunicación centralizadas frente a las distribuidas? Bajo esta perspectiva es muy importante concentrarse en la morfogénesis del patrón de las comunicaciones, la auto-organización jerárquica de la información y el bucle de realimentación entre la organización espacio-social y la comunicación emergente...”.

Muchas de estas sugerencias se corresponden con necesidades minuciosamente documentadas de investigación a largo plazo y, hasta cierto punto, tienen una gran aceptación. Si hay un tema a debate, tiene más que ver con las condiciones de implementación: nivel de recursos asignados, carácter interdisciplinar real de un programa de investigación como este, herramientas de innovación (simulaciones a gran escala y entornos de mundo virtual) que deberían crearse para dar soporte a esta investigación. No obstante, hay otro aspecto del capítulo de las redes digitales que no está adecuadamente reconocido aún y que debe ser explorado en formas muy innovadoras. El rápido aumento de las redes de consumidores en un espacio de información abierto en el que éstos individualmente comparten opiniones y experiencias con respecto a gran variedad de temas, incluyendo la evaluación de productos y marcas, y que posiblemente usan la información adquirida por estos medios para elaborar preferencias y tomar decisiones sobre los productos que van a comprar. Tal vez el ejemplo más claro de este tipo de redes viene de los mecanismos de realimentación online que posee eBay, donde compradores y vendedores se dejan un voto mutuamente tras cada transacción [97].

⁸³ Las tecnologías inspiradas por la biología, como las desarrolladas en el proyecto FET DELIS / subproyecto 5 (<http://delis.upb.de/sub5.html>), pueden ser útiles también en este sentido.

C. Dellarocas [97]: “Una de las nuevas características de Internet más importantes en comparación con las anteriores tecnologías de comunicación masivas es la bidireccionalidad. A través de Internet las organizaciones no sólo pueden alcanzar al público a una escala sin precedentes a bajo coste, sino que además, por primera vez en la historia de la humanidad, los individuos pueden hacer accesibles a la comunidad global de usuarios de Internet sus propios pensamientos, reacciones y opiniones personales. Se le está dando al boca a boca, uno de los mecanismo más antiguos en la historia de la sociedad humana, un nuevo significado a través de está propiedad única de Internet. Los mecanismos de realimentación en la red, también conocidos como sistemas de reputación, están usando las capacidades bidireccionales de la comunicación en Internet para organizar artificialmente redes boca a boca a gran escala, en las que los individuos comparten sus opiniones y experiencias sobre una amplia variedad de temas, que incluyen empresas, productos, servicios e incluso acontecimientos mundiales... La aplicación del mecanismo de realimentación en mercados online es especialmente interesante porque muchos de estos mercados probablemente no habrían existido sin ellos. Sin embargo, desde luego que no es el único dominio de aplicación de tales sistemas. Los mecanismos de realimentación basados en Internet están apareciendo en una variedad de entornos sorprendente. Por ejemplo, Epinions.com anima a los usuarios de Internet a que pongan nota a prácticamente cualquier tipo de negocio de presencia física, tales como líneas aéreas, compañías telefónicas, resorts, etc. Moviefone.com solicita y muestra realimentación de los usuarios sobre nuevas películas al lado de críticas profesionales y Citysearch.com hace lo mismo con los restaurantes, bares y actuaciones... Podría decirse que el mecanismo de realimentación de eBay ha sido el más estudiado hasta la fecha. Uno de sus aspectos más notables es que las transacciones realizadas a través de eBay no tienen el respaldo de garantías contractuales formales. En su lugar, la cooperación y la confianza se basan principalmente en la existencia de un simple mecanismo de realimentación. Este mecanismo permite a los compradores de eBay y a sus vendedores ponerse nota mutuamente tras las transacciones y hacer público dicho historial”.

Más allá de los mecanismos de aumento de la reputación, las redes de realimentación aparecen habitualmente en sitios de críticas de productos, foros de opinión online, chats, listas de discusión y, en otro ámbito, se desarrollan en comunidades de usuarios cerradas (como las de grupos de mensajería instantánea). Varios estudios sugieren que el boca a boca en la red podría afectar al comportamiento del consumidor de manera significativa, en el sentido de conciencia en algunos casos, o en el de preferencia en otros [98]. Tal vez el vínculo entre el boca a boca y el éxito de mercado de un producto necesitarían una mayor investigación para definirse con precisión [ibidem]. Aun así, un estudio económico más reciente, con datos de la industria cinematográfica, muestra que las críticas publicadas online durante la primera semana de estreno de una nueva película pueden constituir la base para una predicción precisa de los futuros ingresos en taquilla de esa película [99]. Además, muchos parecen creer, según una encuesta de EEUU, que el uso del boca a boca online es, hasta cierto punto, un sustituto tanto de la publicidad tradicional como del boca a boca en el mundo físico [100] y que sin duda actúa de una forma complementaria a la publicidad tradicional y online.

Claramente, los mecanismos de realimentación online intensifican las interdependencias entre clientes, marcas y sus competidores, con dos implicaciones importantes. Por un lado, pueden servir como canal de promoción para las empresas, que “manipularían estratégicamente” la información que circula por estas redes⁸⁴. Por otro lado, estos mecanismos deberían considerarse como herramientas potenciales del consumidor a la

⁸⁴ Pruebas anecdóticas sugieren que las empresas a veces usan “estratégicamente” los mecanismos de realimentación en la red para propósitos de marketing, añadiendo anónimamente sus mensajes predispuestos para la publicidad, al total de opiniones publicadas [101]. Como informa C. Dellarocas, “en febrero de 2004, debido a un error de software, el sitio canadiense de Amazon.com reveló por error las identidades auténticas de algunos de sus críticos literarios; resultó que una buena proporción de esas críticas habían sido escritas por los editores, autores y competidores de dichos libros. Se sabe que la industria discográfica contrata ‘navegantes’ profesionales que pasan por varios chats y sitios de fans para dejar opiniones favorables de los nuevos discos” [ibidem].

hora de tratar con asimetrías de la información [100, 102]. Estas consideraciones opuestas sugieren que hay muchos temas interesantes que necesitan ser tratados para hacer realidad la influencia de estas redes en las ventas de un producto. Invitan a la investigación en la organización, funcionalidad y modelado de las redes digitales y el diseño de mecanismos contra los comportamientos oportunistas.

Además, se pueden considerar las redes de realimentación de consumidores en un marco más amplio, el de un conjunto de recursos derivados socialmente del conocimiento, disponibles para los consumidores, para ayudarles a gestionar la sobrecarga de información diseminada por Internet. ¿De dónde viene?

El mundo *online* que ahora emerge sobre la ciberinfraestructura no tiene *asimetría* de información⁸⁵ en el sentido tradicional. La búsqueda por la Web no es exactamente la búsqueda de precios. La información diseminada por motores de búsqueda está determinada esencialmente por un complejo sistema de algoritmos que proporciona a los usuarios de Internet una mezcla de funcionalidades de búsqueda y ubicación del producto (*encontrar*) con publicidad y marketing interactivo. Morgan Stanley ha etiquetado esta capacidad típica de Internet de entregar información rica y esencial en sólo unas pocas sesiones como el *modelo Buscar/Encontrar/Obtener* (BEO, y reconoce en él el poder de una realidad global dirigida por los grandes de Internet – Yahoo!, Amazon, eBay, Microsoft – con una inercia BEO fuerte que está apareciendo más aún para la música y contenidos multimedia digitales [105, 106]. Frecuentemente, estas sesiones BEO incorporan funciones de transacción (*obtener*) que permiten al usuario obtener el producto/servicio en el que está interesado/a, pero el tema importante aquí no es cuánto de eficaz es Internet a la hora de proporcionar una transacción al final de un diálogo interactivo entre el vendedor y el cliente.

En la práctica, el modelo BEO se combina con la eficiencia excepcional de presentación de la Web y varios canales de marketing online y de iniciación de diálogo para traer a los consumidores potenciales una experiencia rica basada en la información del producto/servicio en el que pueda estar interesado/a, antes de tocarlo. Y el contenido “publicado” por los propios usuarios de Internet (el conocimiento de muchos) añade otro bucle de información al proceso de toma de decisión. Esta rica experiencia es la novedad real que Internet hace posible.

⁸⁵ El término *asimetrías de información* indica el hecho de que los vendedores con frecuencia tienen más información de la que está disponible para los clientes. Esto les incita a actuar de forma *oportunistas*, para promover sus propios intereses estratégicos [103]. Joseph Stiglitz es uno de los iniciadores del concepto de las *asimetrías de información*, que ha ejercido una influencia considerable en el pensamiento económico y por esta contribución a la teoría de las asimetrías de información compartió el premio Nobel con George A. Akerlof y A. Michael Spence. En este sentido, también nos damos cuenta de la gran relevancia de cara a nuestro análisis del comentario S. Ioannides [104]: “la introducción del concepto de información asimétrica marca una ruptura significativa con la micro-teoría establecida, puesto que implica un concepto de la información independiente de los precios”.

Internet proporciona al consumidor diversas maneras para obtener experiencias con un producto/servicio:

- A través de una búsqueda y recolección de información, evaluación y prueba del producto online.
- Obteniendo publicidad interactiva y “personalizada” a través del marketing en la Web y en los móviles.
- Como consecuencia de varias actividades online (participación en foros conversaciones online, acceso al historial de realimentación de otros usuarios, visitas a Slashdot, etc.).
- Agregando selectivamente, con el uso de aplicaciones inteligentes basadas en la Web, todas estas formas de contenido (incluyendo el “generado por usuarios”, por ejemplo, los contenidos de los blogs) en páginas web individuales (o de comunidades), *always-on*, personalizadas u orientadas a la comunidad.

En este contexto, el proceso de percepción de información y evaluación (el *momento de tomar la decisión*) puede hacer “parcial” todo el proceso de toma de decisión del usuario (*momento de decidir más momento de actuar*) y esto es, en pocas palabras, lo que la economía de la información pone sobre la mesa. Resumiendo, la información se convierte en un factor determinante del comportamiento de compra y esto tiene varias implicaciones:

- Teóricas: ¿Cómo es el proceso de toma de decisión en entornos tan ricos en información, donde la decisión del cliente parece desglosada de alguna manera en dos sub-procesos, un proceso de elección “parcial a la información” y una acción sobre el proceso de toma de decisión? ¿Cómo se van construyendo progresivamente las preferencias individuales dentro del proceso de la recolección de información y la evaluación online (claramente una tarea cognitiva compleja)?
- Bienestar del consumidor: La información en entornos ricos en información es todavía “imperfecta”, en el sentido de que los clientes adquieren una información pública a través de la búsqueda, lo cual es un proceso imbuido de valores comerciales y políticos⁸⁶ de una manera peculiar, y a través de la navegación de la Web, que también es “parcial” por la topología de los enlaces⁸⁷. Asimismo, se enteran de las opiniones de otros usuarios a través de redes de realimentación online, que pueden ser estructuralmente “vulnerables” ante la manipulación estratégica⁸⁸. ¿Qué ventajas tecnológicas y recursos cognitivos podrían dar mayor creatividad y eficiencia organizativa a los ciber-consumidores a la hora de procesar la información bajo estas condiciones de “exceso de información”⁸⁹?

⁸⁶ Ver en especial: A. Díaz [107].

⁸⁷ Ver supra.

⁸⁸ Ver supra.

⁸⁹ Las tareas de recolección y evaluación de información online en el contexto de entornos ricos en información se parecen a un proceso de *creación de conocimiento*. Las teorías económicas, en particular, en particular la Nueva Economía Institucional, reconocen la capacidad de las organizaciones (empresas, redes, etc.) de crear, transferir, juntar, integrar y explotar las ventajas relativas al conocimiento (*la empresa como repositorio de conocimiento*), que finalmente les proporciona la base para una ventaja competitiva [108, 109]. Las mismas teorías, sin embargo, guardan silencio en lo que respecta a las ventajas relativas a conocimiento del cliente y a su eficiencia organizativa en el proceso y gestión del conocimiento...

- Dinámica competitiva: La economía de la información de reciente aparición da una “visibilidad sin precedentes” del rendimiento de las campañas publicitarias y de marketing y demuestra el gran valor de las ventajas intangibles, como la marca y la promoción del producto, gestión de relación con el cliente y el proceso de negocio diseñado para incorporar la interacción usuario-productor. ¿Cómo podrían actuar las empresas para aprovechar las oportunidades relacionadas con el aumento de la creatividad del consumidor y cómo deberían gestionar el conocimiento que se produce cada vez más a través de la interacción con los clientes mediante la ciberinfraestructura⁹⁰?

Resultan retos de investigación importantes el desarrollo de una explicación unificada de la toma de decisión del consumidor en estos entornos ricos en información, y de una teoría económica para el ciber-consumidor y el entorno tecnológico que dará soporte a su eficiencia organizativa. Una vez más, los enfoques interdisciplinares son muy necesarios. Se debe prestar una especial atención al desarrollo de métodos y herramientas de neuroeconomía, un nuevo campo que ya muestra una capacidad para fusionar conceptos de ciencias naturales y sociales con el estudio del comportamiento humano⁹¹.

Recomendación: Un objetivo principal de la política de comunicación de la UE, como se ha implementado a través de muchos proyectos Grid⁹², es el de definir y construir una ciberinfraestructura que facilite el desarrollo de nuevas formas organizativas de red coherentes con los requisitos de la Sociedad de la Información. La ciencia ya se ha beneficiado de los proyectos de ciberinfraestructura⁹³. Pero la investigación en los negocios y las redes digitales del consumidor deben recibir más apoyo y adquirir un carácter fuerte, proactivo e interdisciplinar. Además, la investigación en el área emergente de la economía de la información debería abarcar los siguientes temas clave: I) la toma de decisión en un mundo rico en información (un asunto complejo que requiere la investigación interdisciplinar entre economía y ciencias del comportamiento, psicología y neurobiología, para investigar los sustratos de los procesos cognitivos y emocionales implicados en los procesos de decisiones de

⁹⁰ El tema de la gestión eficaz de la información privada, con el uso de tecnologías PET (Privacy Enhancing Technologies, Tecnologías para la Mejora de la Privacidad), es también uno de los requisitos importantes para una economía de la información sostenible, que debería tratarse en este contexto.

⁹¹ En un documento recientemente publicado sobre Cognición y Conducta, P. Glimcher y A. Rustichini definen la neuroeconomía como la concurrencia del cerebro y la decisión: “La economía, la psicología y la neurociencia están convergiendo hoy en una única disciplina unificada con el objetivo ulterior de proporcionar una única teoría general de la conducta humana. Éste es el campo emergente de la neuroeconomía, en la que la concurrencia, la concordancia de dos o más inducciones extraídas de distintos grupos de fenómenos, parece estar teniendo lugar. Los economistas y psicólogos están proporcionando herramientas conceptuales fértiles en el estudio y modelado de la conducta, mientras que los neurobiólogos están proporcionando herramientas para el estudio de otros mecanismos. El objetivo de esta disciplina es entender así los procesos que conectan sensación con acción revelando los mecanismos neurobiológicos por los que se toman decisiones” [110].

⁹² Ver en particular <http://www.cordis.lu/ist/rn/grids.htm>.

⁹³ Mencionamos en concreto el proyecto con fondos de la UE EGEE (<http://egee-intranet.web.cern.ch/egeeintranet/gateway.html>) y el Programa de e-Ciencia del Reino Unido (<http://www.rcuk.ac.uk/escience/>).

selección del producto) y II) modelos y herramientas teóricas para las redes de realimentación del consumidor, para estudiar el potencial de mejora del bienestar del consumidor que prometen estas redes⁹⁴. Europa está claramente por detrás de EEUU en el área de redes digitales y economía de la información, como ha revelado un reciente “análisis de temas críticos” en el área (más reducida) del comercio electrónico [113]. El reto para Europa es usar el avance inmediato que posee en ciertas tecnologías de ciberinfraestructura, para diseñar una investigación interdisciplinar eficaz que pueda contribuir a la construcción de nuevos tipos de organizaciones del conocimiento (incluyendo los recursos organizativos del ciberconsumidor) con cada vez mayor eficiencia.

⁹⁴ Es muy importante fomentar en este sentido la experimentación con conceptos como las redes de preferencias [69] y la aplicación de técnicas inspiradas en la biología, como redes virales [111] y etiquetado [112].

4.4 El triángulo Internet, Móvil, Inalámbrica (o más allá de “beyond-3G”)

La investigación en esta área es crítica para sostener, en el futuro, la posición de liderazgo de Europa en tecnologías de comunicaciones móviles (2G/2.5G, 3G). El liderazgo europeo en esta industria es importante para el I+D colaborativo de la UE que propició las condiciones para estándares de éxito global y para que las políticas de la UE “hiciesen fuerza” para un sistema GSM pan-europeo⁹⁵. Pero ahora estamos entrando en una nueva fase de crecimiento en el sector de las comunicaciones móviles e inalámbricas según las aplicaciones y los servicios móviles convergen con Internet y dan lugar a requisitos de mayor ancho de banda y funcionalidad multimedia. Los factores de crecimiento para la Internet cableada y la inalámbrica parecen, por tanto, similares (i.e. aplicaciones productivas), como demuestra la capacidad dominante de las aplicaciones de Voz sobre IP. En términos generales, el mayor asunto de I+D en la nueva era es lo que “4G” o, mejor, “B3G (*beyond3G*) o ‘más allá de 3G’”, un término que indica más que una hipotética cuarta generación de telefonía móvil: un futuro panorama que se basa en la heterogeneidad de las redes, la permanente diversidad tecnológica, la integración de diferentes tecnologías (incluyendo la convergencia *seamless* (sin costuras) entre las infraestructuras fijas y móviles) y los servicios multimedia sobre IP. Tiene que ver, en palabras de H. Kremling de Vodafone⁹⁶, con un marco para la oferta de servicios dependientes del entorno (basados en un volumen cada vez mayor de datos multi-sensoriales) que permiten interacciones óptimas con el entorno en cualquier sitio y a través de redes heterogéneas⁹⁷. Esto incluye (más allá de las redes cableadas): el nivel personal (redes personales/de área corporal/ad hoc), el nivel local/doméstico (WLAN, Vehicular – VAN, Ultra Wideband – UWB), el nivel de telefonía celular (UMTS) y el nivel de área amplia (transmisiones digitales, nuevas radiocomunicaciones y satélite).

La UE invierte en las tecnologías móviles e inalámbricas (tecnologías, aplicaciones y servicios de red) una cantidad considerable del presupuesto de cada Programa Marco (alrededor del 10% de los recursos del 6º Programa Marco). Más allá de las inversiones en investigación de la UE, los estados-miembro tienen programas de I+D financiados con dinero público y los fabricantes de equipos y dispositivos de red invierten una cantidad

⁹⁵ Para una opinión interesante sobre sistemas móviles 2G/3G, ver la referencia [114].

⁹⁶ Ver la presentación de H. Kremling en la cumbre ITS Mobile & Wireless Communications Summit 2005; ver: http://141.30.121.45/~summit/downloads/pp/panels/b3g/1_Kremling.pdf.

⁹⁷ Informamos aquí de las conclusiones del panel “B3G and 4G: What is it good for?” en la cumbre ITS Mobile & Wireless Communications Summit 2005 (Dresden). Las presentaciones de los participantes están disponibles en <http://mobilesummit2005.org/session.php?session=103>. Dan una visión genérica de las percepciones más recientes de lo que debería ser la funcionalidad de entornos B3G (“beyond 3G” o “más allá de 3G”) y 4G.

de recursos considerable en I+D y coordinan activamente sus actividades⁹⁸. La industria europea se da cuenta de que, para hacer frente a los retos futuros, la investigación debería ir más allá de la mejora de los productos para desarrollar enfoques de investigación a gran escala en sistemas y desarrollos de tecnologías de red innovadoras y nuevas aplicaciones y servicios. A decir verdad, la competencia no europea también invierte considerablemente en I+D: como reconocieron en un documento publicado a iniciativa de eMobility⁹⁹, los países asiáticos, especialmente Corea¹⁰⁰ y China, están llevando a cabo esfuerzos sustanciales para superar a Europa; y EEUU invierte su presupuesto de defensa en apoyar el avance de las tecnologías, en particular en el área emergente de las tecnologías inalámbricas de corto alcance. ¿Qué es el I+D a largo plazo y efectivo en estas inversiones en distintas plataformas y tecnologías? En la línea de nuestra definición de investigación a largo plazo en términos de gran impacto / alto riesgo pero con prioridades seleccionadas eficazmente, proponemos un programa de investigación que incorpora la perspectiva recientemente establecida de los *commons*¹⁰¹ en la gestión del espectro radioeléctrico. Para explicar cómo está relacionada la perspectiva *commons* con los próximos retos en el sector y por qué tiene influencia en la dirección de la investigación de alto riesgo / gran impacto, empezamos nuestro análisis por un informe reciente de ESTO-IPTS sobre el potencial de 4G [52].

Este informe identifica dos escenarios para el desarrollo de la industria, una visión de 4G lineal y una visión de 4G concurrente: *“El primer escenario es una extrapolación de las tendencias actuales hacia un incremento del ancho de banda de las comunicaciones móviles y prevé la disponibilidad general de las comunicaciones móviles de 4G alrededor de 2010. Este escenario proyecta la visión de que las comunicaciones móviles habrán evolucionado a través de una serie de sucesivas generaciones, una visión que está implícita en el término ‘cuarta generación’. (Este escenario recibe el nombre de ‘visión 4G lineal’ en el informe.) El escenario alternativo (llamado ‘visión 4G concurrente’ en el informe) considera la posibilidad de un impacto disruptivo de la aparición del acceso público a redes de área local inalámbricas (WLAN). Hasta cierto punto, el acceso a WLAN ya está disponible hoy y los planes para el despliegue de un gran número de los llamados ‘hotspots’ que ofrecen acceso a Internet semi-móvil están en marcha. Este enfoque permite la oferta de un servicio de*

⁹⁸ El ejemplo más reciente de un programa de I+D de este tipo en el ámbito de la industria es “eMobility: The Mobile and Wireless Communications Technology Platform” (<http://www.emobility.eu.org/>). Nos damos cuenta también de la existencia de dos grupos muy activos en el ámbito de empresa que expresan fundamentalmente las visiones de los fabricantes de equipos, WWRF – Wireless World Research Forum (<http://www.wireless-worldinitiative.org/>) y WSI – Wireless Strategic Initiative (<http://www.wireless-world-initiative.org/>), así como el instituto Eurescom - European Institute for Research and Strategic Studies in Telecommunications (<http://www.eurescom.de/>), que tiene el respaldo principal de las empresas de telecomunicaciones europeas.

⁹⁹ Ver: http://www.emobility.eu.org/about_us.html#theMobile.

¹⁰⁰ Para una visión exhaustiva de la estrategia de Corea para el sector de las comunicaciones, ver la presentación de E. Bolin (IST Strategies in Korea) en la conferencia FISTERA “IST at the Service of a Changing Europe by 2020: Learning from World Views”, junio de 2005, Sevilla (disponible en <http://fistera.jrc.es/docs/Final%20conference/presentations/session%205/Bohlin%20Korea%20Case%20report.pdf>).

¹⁰¹ Ver nota 16.

banda ancha a un coste relativamente bajo en ubicaciones específicas donde el uso probablemente estará concentrado [ibidem]. Aunque muchas cosas han cambiado desde la publicación de este informe (febrero de 2004) y ambas visiones han evolucionado, una cierta dicotomía, no muy distinta a la que describe el informe ESTO, parece persistir.

Puede que ahora sea una visión 4G post-lineal la que afecta al enfoque de investigación europeo, tal y como se ha implementado en los proyectos del 6º Programa Marco y por lo que se desprende de los diseños iniciales del 7º Programa Marco sobre *oferta de servicios basados en el entorno*¹⁰². Es mucho más amplia de lo que era la visión 4G lineal en el momento en que el informe ESTO fue redactado, puesto que incorpora la suposición, muy realista, de la permanente heterogeneidad de las redes y aplicaciones que deberían integrarse *seamlessly*. En esencia, enfatiza la necesidad de la investigación de sistemas que, simultáneamente, proporcionen un *uso creciente y eficiente del ancho de banda* y creen *servicios definidos por el contenido para el usuario* (esta es una evolución real, no lineal, desde los tiempos en que discutíamos vías de transición a 3G). En la nueva visión se promueve activamente el acceso a estas nuevas redes, aplicaciones y servicios, con el uso de tecnologías de sistemas de acceso inalámbrico como las WLAN, en el sentido de que se considera que el asunto pertenece a las políticas de bienestar del consumidor. De hecho, la Comisión ha decidido recientemente hacer que una cantidad sustancial de espectro radioeléctrico esté disponible en toda la UE para WLAN (Wi-Fi), con el objetivo de *“proporcionar acceso móvil a Internet y a las redes privadas”* en un entorno *“nómada”*, *“lo que significa que el usuario puede llevar su portátil para acceder a estos servicios desde cualquier ubicación dentro del rango de un ‘hotspot’”*. Muy apropiadamente, la visión 4G post-lineal considera también las medidas políticas necesarias que deberían complementar, y facilitar, el programa de investigación. En este contexto, se está preparando un nuevo enfoque de la política de gestión del espectro en la UE, que se concentrará en los nuevos mecanismos (haciendo hincapié en los mercados de compra-venta de espectro) que pueden mejorar la gestión del espectro y, en consecuencia, apoyar la innovación y el carácter competitivo¹⁰³.

¹⁰² Ver nota 8; ver también la presentación de A. de Albuquerque (Comisión Europea, INFSOUnitD1) en la Cumbre de 2005 ITS Mobile & Wireless Communications (Dresden), disponible en http://141.30.121.45/~summit/downloads/pp/panels/b3g/5_deAlbuquerque.pdf.

¹⁰³ Ver en particular el trabajo del Radio Spectrum Policy Group (RSPG), establecido según la decisión de la Comisión 2002/622/EC (http://rspg.groups.eu.int/about/index_en.htm).

CUADRO 13 *Decisión de la Comisión de 11 de julio de 2005 por la que se armoniza la utilización del espectro radioeléctrico en la banda de frecuencias de 5 GHz con vistas a la aplicación de los sistemas de acceso inalámbrico, incluidas las redes radioeléctricas de área local (WAS/RLANs) / MEMO/05/256*

¿Para qué se usan estas tecnologías?

En la actualidad, las redes radioeléctricas de área local (RLANs, también conocidas como Wi-Fi) se usan en los llamados “hotspots” que se encuentran en aeropuertos, hoteles, cafeterías, etc. Permiten a los usuarios conectar su portátil a Internet y realizar llamadas telefónicas usando “Voz sobre IP” (ver MEMO/05/46). Hay cada vez más pruebas de que las redes RLAN pueden proporcionar servicios eficaces de Internet, especialmente como complemento de los servicios de telefonía móvil y servicios residenciales de banda ancha, o a través de redes municipales o de Proveedores de Servicios Inalámbricos de Internet (Wireless Internet Service Provider, WISP). Las RLANs forman parte de una categoría más amplia llamada sistemas de acceso inalámbrico (WAS) que da a sus usuarios acceso a comunicaciones de banda ancha en un entorno “nómada”, lo cual significa que el usuario puede llevarse su portátil para acceder a estos servicios a cualquier lugar en las inmediaciones del “hotspot”.

¿Por qué una Decisión de la Comisión sobre este tema?

Teniendo en cuenta la sobrecarga potencial en la banda de frecuencias de 2.4 GHz, es importante para la industria recibir la certeza legal de que una cantidad sustancial del espectro estará disponible para WAS / RLANs en toda la Unión Europea de una forma armoniosa. La nueva Decisión de la Comisión asegurará que una parte suficiente del espectro esté disponible pronto en todos los Estados miembros en el rango de los 5 GHz (5150-5350 MHz y 5470-5725 MHz) para poder alojar todos los equipos, impulsando así nuevos servicios innovadores y acceso a la banda ancha. Además de fomentar la adopción de servicios innovadores, el objetivo principal de esta acción es asegurar la creación de un mercado único para dispositivos que usen Wi-Fi, como los portátiles. Los sistemas RLAN que usan las nuevas bandas serán más rápidos que los Wi-Fi existentes (típicamente 54 Mbit/s en lugar de 11 Mbit/s). En vez de ser una banda abierta a cualquier aplicación, como la de 2.4 GHz, las bandas de frecuencias de 5 GHz estarán compartidas por RLAN con un número limitado de usuarios de espectro, a saber, servicios militares y de satélite. Esto da a las RLAN un entorno de operación mejor, pero requiere ciertos criterios técnicos de coexistencia coordinada, que se acordaron en la *World Radiocommunications Conference of the International Telecommunication Union (ITU)* en 2003 (WRC-03)... La Decisión de la Comisión proporciona una base legal para establecer un nivel de protección que todos los servicios que operen en el rango de los 5 GHz, pueden esperar dentro de la UE.

¿Cómo facilita esta Decisión la innovación y la rápida difusión de los servicios de banda ancha?

La Decisión de la Comisión de hoy también proporciona una gran flexibilidad con respecto al tipo de servicio o topología de red para el cual se usa la tecnología. Los fabricantes ya están trabajando en nuevas aplicaciones innovadoras, como la expansión de las redes autoconfigurables. Las llamadas “redes mesh” son una nueva forma de conectar usuarios a la banda ancha y extender el alcance, en algunos sin coste de red adicional. En especial, en áreas metropolitanas estas redes pueden provocar cambios sustanciales en comparación con el panorama actual de las comunicaciones. Sin embargo, puesto que debe protegerse al resto de usuarios del espectro, hay límites al alcance al que se puede llegar con equipos de WAS/RLAN que usen las bandas de frecuencia de los 5 GHz. En consecuencia, esto limitará, hasta cierto punto, las posibilidades de llevar la banda ancha a áreas rurales en las que será necesario cubrir distancias más largas para obtener acceso. Aquí es donde entran tecnologías como WiMAX, que tiene un alcance sustancialmente mayor (típicamente, del orden de varios kilómetros), pero también una potencia mayor que Wi-Fi (en otras bandas de frecuencias)... Debe hacerse notar que cuando el equipo de WiMAX se usa en las bandas identificadas por esta Decisión de la Comisión, deben respetarse los límites de potencia establecidos para WAS/RLAN.

Dados los rápidos pasos hacia la “visión 4G lineal”, ¿existe todavía una visión 4G post-concurrente también? ¡Existe! Es ambicioso dar una solución radical a la organización de la infraestructura inalámbrica que, de hecho, funciona de una manera muy distinta a la infraestructura cableada de Internet. El factor que dirige esta disruptiva trayectoria es la idea de un espectro sin licencia que, gracias a los avances de la tecnología, puede gestionarse eficientemente de una manera distribuida mediante un *modelo de compartición*, llamado en la jerga de la comunidad universitaria y de negocios “Wireless Commons”, que puede establecer una nueva generación de cooperación y agregación de mecanismos que posibilitan una red inalámbrica realmente descentralizada. De hecho, los partidarios del *commons* [16, 115, 116, 117, 118] afirman que las colecciones de dispositivos inalámbricos inteligentes (por ejemplo, equipos de radio inteligente “*pertenecientes a individuos, muy en la línea de los automóviles y los PCs*”) pueden compartir un espectro de manera

eficiente, sin definir derechos exclusivos sobre él, e incluso cooperar en la creación de más capacidad. Es verdad que esperan cambios dinámicos de frecuencia, modulación y niveles de potencia de sus *transceptores*, y la capacidad de retransmitir tráfico (o de “prestar” su antena a nodos vecinos), generando así un *exceso* de capacidad en la red inalámbrica. Los dueños de tal exceso de capacidad, tal y como ocurre con la computación distribuida (SET@home y Grids) y la compartición de automóviles en California (*car-pooling*), “pueden compartir para producir sistemas inalámbricos de comunicación” [16]. Para dar mayor credibilidad a sus argumentos, los aperturistas de espectro se refieren a nuevas teorías de bienes *compartibles* y la aparición de la compartición como tercera forma de producción económica, más allá de mercados y jerarquías, y afirman que la difusión de Wi-Fi es el caso de éxito de políticas de espectro sin licencia [ibidem]. Por lo tanto piden que se asigne más espectro para uso sin licencia y se oponen a las recomendaciones de reformas de políticas que se concentran exclusivamente en la licencia privada del espectro.

CUADRO 14 *Hacia el Wireless Commons*

Y. Benkler [16]: “La disminución de los costes de computación y el aumento de la sofisticación de los protocolos de comunicación entre dispositivos de usuario finales en la red permitió, al problema de cómo permitir a los usuarios comunicarse sin cables, nuevas soluciones basadas en la compartición. Ahora, en vez de tener un derecho a transmitir exclusivo y regulado, que puede o no estar sujeto a su vez a una reasignación de mercado, es posible tener un mercado a pequeña escala de bienes de equipo que incorporan a los dispositivos la posibilidad técnica de compartir capacidad y cooperar en la creación de capacidad... Los motivos por los que los dueños comparten son relativamente sencillos en este caso. Los usuarios quieren tener conectividad inalámbrica en todo momento, para poder estar localizables y tener acceso desde cualquier lugar. Pero en realidad no quieren estar comunicándose cada pocos microsegundos. Por lo tanto estarán dispuestos a comprar y mantener conectados equipos que les proporcionan esa conectividad. Los fabricantes, a cambio, desarrollarán y se mantendrán fieles a unos estándares que mejorarán la capacidad y la conectividad. Dado que la “ganancia de cooperación” es el recurso más prometedor de escalado mejor-que-lineal de la capacidad para sistemas inalámbricos distribuidos, estos estándares deberían gravitar hacia la interoperabilidad y la conciencia mutua de los requisitos... Los usuarios pueden entonces tener incentivos para mantener los sistemas siempre conectados, y los fabricantes incentivos para “compartir bien”, identificando razonablemente las irregularidades en la compartición. Lo que falta por considerar en el proceso de regulación es cuánta regulación de fondo de los sistemas es necesaria (si es que lo es) para limitar las deserciones específicamente estratégicas de los estándares de cooperación, y de qué tipo – normas de pre-certificación, normas de responsabilidad, etc. Es un problema difícil que probablemente no se podrá resolver teóricamente, sino más bien a través de una experimentación práctica con diferentes regímenes en distintas partes del espectro ya regulado...”

Estamos empezando a ver este espacio como el ejemplo más destacado de un sistema que estaba completamente orientado hacia la mejora de las condiciones institucionales de la producción, basada en el mercado, de capacidad de transporte inalámbrico como flujos de funcionalidad – minutos de conectividad – que cambia para permitir la aparición de un mercado de bienes que se pueden compartir – radios inteligentes – diseñados para proporcionar transporte en un modelo de compartición”.

En el debate público, los partidarios del *commons* (o aperturistas de espectro) no se oponen a los partidarios del modelo de 4G lineal. La división en el debate público, tal y como se ha visto en EEUU en los últimos años, donde esta discusión contempla un conflicto de ideas muy creativo, está entre los partidarios del *commons* y los partidarios de los derechos de propiedad, y el asunto trata la gestión eficiente del espectro. Los partidarios de los derechos de propiedad, en referencia al viejo documento de G. Hardin [119] argumentan que siempre que un recurso está disponible gratuitamente, está sobrecargado y congestionado y, como resultado, suele aparecer una “tragedia de los bienes comunes”. Además, critican a los aperturistas de espectro por ignorar el problema de la resolución de disputas en un

sistema de bienes comunes y sospechan que el enfoque *commons* finalmente introducirá nuevos costes de regulación [120, 121, 122]. Cualquiera que sea el tema de este debate, claramente hay una tendencia por parte de los lados opuestos a acercarse [123], ya hay dos implicaciones importantes:

- La liberalización y la flexibilidad del uso del espectro, que requiere derechos de propiedad de facto o de ley (estableciendo mecanismos de mercado y de comercio¹⁰⁴), son reconocidas cada vez más como principios más eficientes de la gestión del espectro que el “viejo” proceso de planificación administrativo (“orden y mando”)¹⁰⁵.
- Los políticos en EEUU¹⁰⁶, la UE¹⁰⁷ y en cualquier parte del mundo¹⁰⁸ están planteándose moverse en una dirección pro-mercado y pro-*commons*, diseñando una mezcla de enfoques de regulación y buscando un equilibrio adecuado entre fracciones del espectro con licencias flexibles y gestionado por *commons* (sin licencia)^{109 110}.

El cambio a una gestión más eficiente del espectro, por supuesto, bajará los costes de oportunidad y fomentará el cambio en el uso de muchas fracciones del espectro para ofrecer muchos servicios nuevos y estimular los usos innovadores de las nuevas tecnologías (como, por ejemplo, los dispositivos de baja potencia y las transmisiones de baja potencia en bandas asignadas a redes móviles o de televisión¹¹¹). Una pregunta interesante surge, sin embargo, cuando tomamos en consideración también la dinámica tecnológica de los distintos modos de asignación. Desde una perspectiva estrictamente tecnológica, los sistemas con licencia gestionados a través de derechos de uso del espectro proporcionan sólo un nivel aceptable de neutralidad tecnológica. Mientras que el *commons*, puesto que

¹⁰⁴ Implementado como un mercado secundario que reasigna ancho de banda inalámbrico después de una asignación reguladora (esto le daría la oportunidad a un operador de telefonía móvil de, por ejemplo, vender el rango de frecuencias asignado a su licencia para servicios 3G a un operador Wi-Fi que esté buscando expandir su capacidad para servicios de Voz sobre IP)...

¹⁰⁵ El modelo tradicional de gestión del espectro (“orden y mando”) se ha basado en un régimen de asignación de licencias en el que los gobiernos concedían a los poseedores de licencias poderes restrictivos (incluyendo requisitos técnicos que debían ser respetados y el tipo de servicios que podían ofrecerse) sobre bloques del espectro pre-definidos.

¹⁰⁶ Ver: FCC 2002 Spectrum Policy Task Force Report, ET Docket n° 02-135 (disponible en <http://www.fcc.gov/sptf/>).

¹⁰⁷ Ver: La presentación de Ph. Lefebvre (CE) en el Workshop “An Open Future for Wireless Communications”, Cambridge (Reino Unido), abril de 2004 (disponible en <http://www.thecii.org/events/wireless-2005-04-19/1-lefebvre.pdf>). Para una visión más orientada a mercado, ver: la presentación de G. Louth (Ofcom) en el mismo workshop (disponible en <http://www.thecii.org/events/wireless-2005-04-19/2-louth.pdf>).

¹⁰⁸ Ver referencia [124].

¹⁰⁹ Con una parte del espectro más pequeña y en disminución regulada a la manera tradicional (proceso de “orden y mando”).

¹¹⁰ En el Reino Unido, la actual distribución del espectro según estos modelos es la que sigue: “orden y mando”: 94%, sin licencia: 6%, zona de fuerzas de mercado: 0%.

¹¹¹ Los sistemas de baja potencia sin licencia pueden compartir franquicias con otros sistemas de licencia flexible sin causarles interferencias.

pone en duda la suposición de interferencia¹¹², ha abierto una puerta al replanteamiento fundamental de las tecnologías y arquitecturas inalámbricas. De hecho, los partidarios del *commons*, en referencia a los sistemas inalámbricos modernos, creen que los sistemas del espectro sin licencia pueden ser muy eficientes a la hora de minimizar interferencias. Y las nuevas tecnologías pueden permitir comunicaciones inalámbricas eficaces sin la obligación de una banda dedicada de frecuencias previamente asignada para diferenciar canales [116].

Cuatro técnicas innovadoras son de especial interés de cara a la optimización de interferencias y la transformación del uso del espectro basado en frecuencias [116, 123, 125, 126, 127, 128]: I) (overlay) radiocomunicación cognitiva que detecte y se adapte a su entorno de RF (las radios cognitivas podrían detectar si una banda de frecuencias específica está siendo usada en ese momento, emitir en esa banda si no es el caso y cambiar rápidamente a otra banda si el nuevo dispositivo empieza a emitir en esa banda¹¹³); II) (overlay) Tecnologías de Antenas Inteligentes, que mejoran su rendimiento de recepción (distinguiendo, con la ayuda de varias observaciones, la señal del ruido, fijándose en la primera); III) (underlay) UWB – Ultra-Wideband – encontrando un compromiso entre ancho de banda y potencia (las transmisiones UWB emiten en pulsos muy cortos en un gran ancho de banda, reduciendo así los niveles de potencia de la fuente de radiocomunicación por debajo del “umbral de ruido” de otros dispositivos); iv) (arquitectura) redes mesh que usan muy poca potencia y por lo tanto minimizan los problemas de interferencia (una red mesh puede comunicarse eficazmente con un ordenador cercano y otro y otro, y así formar una red de retransmisores a gran escala, transformando receptores en transmisores, añadiendo así capacidad a la red “según se va consumiendo”¹¹⁴). Todas estas técnicas tienen varias debilidades que deben mejorar si se les va a dar uso en un entorno completamente comercial, pero varias comunidades de ingenieros, proyectos de arranque y de investigación arrastran rápidamente consigo ciclos de experimentación, motivados por la actual ampliación de la fracción del espectro asociado a los *commons*¹¹⁵.

¹¹² *Interferencia* significa el ruido no deseado de fuentes de radio cercanas que afecta a la calidad de una comunicación inalámbrica. El intento de evitar las interferencias ha justificado decisiones prematuras de separación del espectro en bloques de frecuencias y de imponer legalmente una exclusividad en fracciones pequeñas o más grandes del espectro (orden y mando).

¹¹³ Las tecnologías en desarrollo pueden avanzar aprovechando frecuencias “libres de uso” (agujeros), un proceso llamado “compartición oportunista o entretejer”, hasta el punto de que pueden redistribuir oportunamente el espectro asignado sin necesidad de saber cuál es exactamente el esquema de asignación previo. En este sentido, DARPA ha asignado al programa de investigación XG el objetivo de desarrollar mecanismos de compartición especialmente oportunistas, capaces de adaptarse en entornos “hostiles” (ver: <http://www.darpa.mil/ato/programs/xg/>).

¹¹⁴ Se pueden usar las redes mesh para ofrecer tanto servicios de voz como de datos y, con una mezcla de tecnologías subyacentes, desde transmisión celular hasta SDR y UWB. Se considera a las redes mesh innovadoras en términos de habilidad para aumentar su capacidad según aumente la densidad geográfica de nodos (de poca potencia). Nota: Un enfoque conceptualmente interesante para la ingeniería de sistemas inalámbricos mesh, con altos niveles de conectividad / crecimiento y requisitos de baja potencia, viene del MIT Media Lab bajo el nombre “comunicaciones virales” comunicaciones virales” (ver: <http://www.darpa.mil/ato/programs/xg/>).

¹¹⁵ Esto no quiere decir los regímenes de licencia/propiedad no sean capaces de incorporar estas tecnologías. Incluso pueden incentivar el desarrollo de algunas de ellas pero, generalmente, son más acogedores para otro tipo de innovaciones (tal vez tecnologías como la subasta de ancho de banda o tecnologías para la creación y monitorización de mercados secundarios).

¿Cuánto pueden desplazarse las fronteras de la colaboración inalámbrica? Una buena estimación de la situación es la que sugiere W. Lehr. Lo más probable es que haya una mezcla de tecnologías y modelos de negocio evolucionando juntos con una mezcla de enfoques para las políticas. *“La convergencia de la informática y las comunicaciones, que se ha llevado aún más lejos gracias al crecimiento Inalámbrico, hace más difícil definir dónde está la “frontera” de la red y qué funcionalidad debería incluirse en los equipos en lugar de en la red. En este punto, no está nada claro qué tecnologías funcionarán mejor con qué negocios y qué modelos de regulación servirán a qué necesidades de usuario”* [118]. Lo que es más seguro es que las formas en las que se haga disponible el espectro tendrán una influencia en la arquitectura de red y *vice versa*, se espera que las arquitecturas de redes inalámbricas tengan una influencia sobre las formas en que se use el espectro¹¹⁶.

Resumiendo: los enfoques “convencionales”, como el *modelo 4G post-lineal*, intentan entender las redes inalámbricas como una extensión de la arquitectura de Internet, con partes que constituyen un “núcleo” y una “frontera”, donde el crecimiento sigue la dirección de las aplicaciones *ricas* (que aún están por “descubrir”), que disfrutarían un gran ancho de banda y un espectro asignado con mucha flexibilidad. Un enfoque de *commons* o bienes comunes, que sustituye los conceptos de *entrada abierta* y *auto-regulada* por los de *control exclusivo*, explora distintos principios de red para que la capacidad inalámbrica pueda implementarse de una forma cooperativa (produciendo ganancias cooperativas), *“el todo es mayor que la suma de las partes”*¹¹⁷. Haciendo

¹¹⁶ Recordamos que R. Nelson comentó que las tecnologías y las instituciones están evolucionando [45].

¹¹⁷ Merece la pena hacer notar que DARPA en EEUU pretende fomentar la investigación según esta trayectoria tecnológica (comenzando la ingeniería inalámbrica casi desde cero). En julio de 2005, DARPA anunció un programa (“Control-Based Mobile Ad-Hoc Networking (CBMANET)”) que diseñará, desarrollará y probará una red móvil ad hoc (Mobile Ad hoc NETWORK, MANET) “basada en el pensamiento de la tabula rasa de una arquitectura de red inalámbrica, incluyendo mecanismos de control adaptativos distribuidos, protocolos entre niveles hechos a medida de entornos tácticos inalámbricos y abstracciones de niveles de red reformuladas... El resultado será una novedosa y ventajosa MANET que mejorará dramáticamente el rendimiento desde la perspectiva del usuario final, al menos por las tres siguientes razones.

Primera, una red basada en el control asignará más eficazmente los recursos inalámbricos de la red para satisfacer los objetivos del usuario y las limitaciones del operador. Idealmente, estos objetivos y limitaciones estarán caracterizados explícitamente en la forma de una función objetiva configurable dinámicamente que refleje el propósito del diseñador/planificador de la red y guíe la adaptación de red entre niveles. Los ejemplos de objetivos relevantes y limitaciones operativas incluyen la maximización de la utilidad de la aplicación conjunta, la disponibilidad de recursos, equidad, conectividad, garantía de calidad de servicio, prioridad y precedencia multinivel adaptativa según la misión y el régimen de operación de la red deseado en relación con la probabilidad de atasco, interceptación o detección.

Segunda, los nuevos protocolos adecuados para las redes inalámbricas se utilizarán independientemente de las limitaciones históricas motivadas por los paradigmas dominantes en las redes actuales. En especial, los protocolos CBMANET aprovecharán las interacciones entre niveles para dar un soporte táctico más eficaz a medida con las aplicaciones de red. Las cargas típicas estarán caracterizadas por contenido con prioridades establecidas, mensajes sujetos a fechas de entrega y un fuerte énfasis sobre multicast.

Tercera, los principios de niveles de red convencionales serán reconsiderados para permitir una interacción más eficaz entre niveles y para modularizar mejor las preocupaciones del usuario, como la latencia, la capacidad, la energía, la equidad y la prioridad. La pila remodularizada proporcionará interfaces y enganches hechos a medida para dar soporte al mecanismo de control adaptativo distribuido, según la idea de diseñar para una mejor gestión.” (documento disponible en <http://www2.eps.gov/spg/ODA/DARPA/CMO/Reference%2DNumber%2D5%2D34/Synopsis.html>).

esto, el modelo *commons* tiende a fomentar redes descentralizadas con inteligencia muy enfocada a la frontera, ubicada en los equipos de los usuarios, que los suministradores de equipo proporcionarán como equipos primarios¹¹⁸. Aún no queda claro cómo se operará en estas redes para proporcionar un servicio coherente y una macro-coordinación (a propósito), pero la historia nos dice que cualquier nueva arquitectura de red trae consigo un nuevo tipo de empresas proveedoras de servicio de red (ISPs de Internet, etc.)...

Recomendación: En los próximos años, los dispositivos móviles tendrán acceso a velocidades comparables con la de los PCs y capacidad incorporada para conectarse tanto a redes G como Wi-Fi. La interacción fluida de las infraestructuras móviles con el acceso cableado a Internet de banda ancha es una perspectiva realista. Europa diseña cuidadosamente su plan de investigación en este campo incorporando una perspectiva más orientada al usuario que en el pasado¹¹⁹. Las inversiones necesarias para implementar entornos “más allá de 3G” y el coste que se requiere que pague el consumidor para tener acceso a estos servicios pueden, sin embargo, ralentizar la adopción de las redes y servicios “más allá de 3G” (como ocurre ahora con las redes y servicios 3G) y provocan una ansiedad razonable ante el futuro del liderazgo europeo en la industria de telefonía móvil. Es muy posible que una reforma en la regulación y gestión del espectro, en proceso actualmente, contribuya a rebajar las barreras de entrada y posiblemente dé a la industria de la telefonía móvil más eficiencia y flexibilidad de mercado (y la oportunidad de obtener el beneficio de las inversiones previas en licencias 3G). Al mismo tiempo, aparecen nuevos enfoques “radicales” de la gestión eficiente del espectro que se concentran en la flexibilidad posibilitada por la tecnología y en el uso no-exclusivo del espectro (i.e. espectro sin licencia) y quieren reglas comunes para la asignación de recursos inalámbricos. Prometen avances drásticos en nuevas tecnologías como transmisión radio cognitiva y UWB, en la que la UE ya ha invertido mucho esfuerzo y presupuesto de investigación, y nuevas consideraciones relativas a arquitecturas (redes mesh) de Internet móvil e inalámbrica que posiblemente la harán diferente, en términos de su arquitectura, de la Internet fija. La incertidumbre es de nuevo la perspectiva desde la que se ve el desarrollo de tecnología y planes de negocio. La mejor respuesta ante la incertidumbre es la diversidad.

Este informe constituye un intento de ampliar nuestro concepto de lo que es la incertidumbre “más allá de 3G” de una forma que nos permita reconocer la necesidad de un plan coherente de experimentación sistemática con tecnologías, regulaciones y motores socio-económicos de “Wireless Commons”. Un programa limitado en el tiempo pero con suficientes fondos, con puntos de evaluación frecuentes, en el contexto de una

¹¹⁸ En este sentido, ver en particular la presentación de W. Lehr en el Workshop “An Open Future for Wireless Communications”, Cambridge (UK), abril de 2004, disponible en: http://cfp.mit.edu/events/slides/jun05/William-Lehr_jun05.pdf

¹¹⁹ La atribución a IPTS de un estudio sobre servicios y mercados móviles en el futuro, vistos desde una perspectiva socioeconómica, es una innovación muy interesante en este sentido. Para ver más detalles ver la referencia [129].

estrategia europea de “mantener todas las opciones abiertas” (más allá del “beyond 3G”). Fortalecer los existentes, experimentar con los nuevos y equilibrar ingeniosamente los esfuerzos entre los dos es la única manera natural en la que puede comportarse un líder. Más aún, la investigación en el área clave de Internet móvil e inalámbrica necesita fomentar visiones sólidas sobre arquitecturas en Europa, nuevas abstracciones por niveles de redes, y modelos para la comprensión de las redes inalámbricas futuras y la exploración de posibles vías de transición. En última instancia, el pensar en términos de arquitecturas sobre servicios y redes actuales y de nueva generación, móviles e inalámbricas es un paso cualitativo hacia delante que necesita organizarse de manera diferente a los enfoques actuales de “agrupamiento de proyectos”.

CAPÍTULO 5

Cuestiones interdisciplinarias

Las subsecciones anteriores han esbozado unas oportunidades para la investigación a largo plazo en el área de las tecnologías y redes de comunicación, organizadas en seis áreas clave de investigación. Cuatro de ellas se han considerado altamente relacionadas con la gestión de la complejidad de Internet y la Web. Aportan nuevos retos para la investigación básica en el diseño de arquitecturas y teorías de red y requieren enfoques interdisciplinarios reales. Las herramientas y los conocimientos más apropiados para entender las cuestiones surgidas en estos contextos¹²⁰ vienen de cuatro corrientes metodológicas particulares:

- Sistemas Complejos,
- Sistemas Cognitivos,
- Algoritmos ampliados con conceptos y modelos de Economía matemática / Teoría de juegos,
- Informática.

¹²⁰ Por dar algunos ejemplos: el diseño de la arquitectura de la Internet de Nueva Generación, explicar la estructura “robusta pero frágil” de Internet, la gestión eficiente de redes digitales, la compartición eficiente de recursos inalámbricos, etc.

CAPÍTULO 6

Referencias

1. Economist Intelligence Unit, 2004, Reaping the benefits of Europe's productivity challenge, disponible en: http://graphics.eiu.com/files/ad_pdfs/MICROSOFT_FINAL.pdf
2. EU Commission, 2002, eEurope 2005: An information society for all, Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2002) 263 final
3. V. Reding, 2005, i2010: The European Commission's new programme to boost competitiveness in the ICT sector, Microsoft's Government Leaders Forum, Prague, 31 January 2005, available at: <http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?reference=SPEECH/05/61&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>
4. OECD, 2004, OECD work on measuring the Information Society, Report disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/6/0/33809872.pdf>
5. G. Dosi, P. Lherena, M.S. Labini, 2005, Evaluating and Comparing the innovation performance of the United States and the European Union, Expert report prepared for the TrendChart Policy Workshop, disponible en: <http://trendchart.cordis.lu/scoreboards/scoreboard2005/pdf/EIS%202005%20EU%20versus%20US.pdf>
6. FISTERA, 2004, Key Factors Driving the Future Information Society in the European Research Area: Synthesis Report on the FISTERA Thematic Network Study (Sep 2002 - Sep 2004), FISTERA Technical Report, disponible en: <ftp://ftp.jrc.es/pub/EURdoc/eur21310en.pdf>
7. OECD, 2004, OECD Information Technology Outlook, OECD
8. B. Dachs, M. Weber, G. Zahradnik, 2005, Europe's strengths and weaknesses in Information Society Technologies: A patent analysis, FISTERA Technical Report, disponible en: <http://fistera.jrc.es/docs/FISTERA%20SW.pdf>
9. IDATE, 2003, DigiWorld2003: the best of IDATE, IDATE
10. A. Henten, M. Falch, R. Tadayoni, 2004, New Trends in Telecommunication Innovation, Communications & Strategies, 54:131-153
11. Computer Science and Telecommunications Board (CSTB), 2004, Telecommunications Research and Development (in progress), disponible en: http://www7.nationalacademies.org/cstb/project_telecomrnd.html#scope
12. M. Friedewald, O. Da Costa, 2003, Science and Technology Roadmapping: Ambient Intelligence in Everyday Life (AmI@Life), JRC/IPTS - ESTO Study disponible en: <http://fiste.jrc.es/download/AmIReportFinal.pdf>
13. P. Johnston, 2004, European Research and Telecommunications Policy: an Evaluation Perspective, paper presented at the EuroCPR Conference, disponible en http://www.encip.org/garnham_8.php
14. K. Pavitt, 2001, Public Policies to Support Basic Research: What Can the Rest of the World Learn from US Theory and Practice (And What They should Not Learn), Industrial and Corporate Change, 3:761-779
15. L. Lessig, 1999, Code and the Commons, keynote address presented at the Conference "Media Convergence", Fordham Law School, NYC, February
16. Y. Benkler, 2004, Sharing Nicely: On Shareable Goods and the Emergence of Sharing as a Modality of Economic Production, The Yale law Journal, 2: 273-358

17. M. Buchanan, R. Dum (eds), 2005, Complex Systems: Challenges and Opportunities, an orientation paper for complex systems research in IST, Working Paper, FET/IST
18. C. Baldwin, K. Clark, 2005, Design and Design Architecture: The Missing Link between "Knowledge" and the "Economy", Working Paper, Harvard Business School
19. R. Braden, D. Clark, S. Shenker, J. Wroklawski, 2000, Developing a Next-Generation Internet Architecture, Introductory Paper, NewArch Project - Future-Generation Internet Architecture, disponible en: <http://www.isi.edu/newarch/DOCUMENTS/WhitePaper.pdf>
20. J. Carlson, J. Doyle, 2002, Complexity and Robusness, PNAS, 1:2538-2545
21. C. Papadimitriou, 2001, Algorithms, Games, and the Internet, paper presented at STOC'01 Conference, Hersonisos-Crete, July
22. M. Noll, 2003, Report of Workshop on Basic Research in Telecommunication, Columbia Univ., NYC, May, disponible en: <http://www.marconifoundation.org/documents/FinalReport.pdf>
23. B. Frischmann, 2005, An Economic Theory of Infrastructure and Commons Management, Minnesota Law Review, 89:917-1030
24. C. Perez, 2004, Technological revolutions, paradigm shifts and socio-institutional change", in E.Reinert (ed.) "Globalization, Economic Development and Inequality, An Alternative Perspective", Edward Elgar
25. R. Henderson, K. Clark, 1990, Architectural Innovation...". Admin. Science Quarterly, 35:9-30
26. K. Clark, 1985, The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution, Research Policy, 14:235-251
27. M. Fransman, 2003, Evolution of the Telecommunications Industry into the Internet Age, in G. Madden, G. and S.J. Savage (eds) "The International Handbook on Telecommunications Economics", Volume I, Edward Elgar
28. M. Noll, 2003, Telecommunications Basic Research: An Uncertain Future for the Bell Legacy, Prometheus, 21:177-193
29. M. Fransman, 2002, Mapping the evolving telecoms industry: the uses and shortcomings of the layer model, Telecommunications Policy, 26:473-483
30. Computer Science and Telecommunications Board (CSTB), 1994, Realizing the Information Future, National Academy Press
31. P. Kavassalis, J. Bailey, T. Lee, 2000, Open Layered Networks: the growing importance of market coordination, Decision and Support Systems, 28:137-153
32. P. Kavassalis, W. Lehr, 2000, The Flexible Specialization Path of the Internet, in E. Bohlin et al (eds) "Convergence in Communications and Beyond", Elsevier Science Pub
33. D. Messerschmitt, 1996, The convergence of telecommunications and computing: what are the implications today?, Proceedings of the IEEE, 8:1167-1185
34. L. Lessig, 2001, The Internet Under Siege, Foreign Policy, 127:56-65
35. M. Piore, 1989, Corporate Reform in American Manufacturing and the Challenges to Economic Theory, Dpt of Economics. Massachusetts Institute of Technology, Working Paper

36. J. Krafft, 2003, Vertical structure of the industry and competition: year analysis of the information-communications industry, *Telecommunications Policy*, 27:625-49
37. M. Ward, G. Woroch, 2004, Usage substitution between fixed and mobile telephony in the U.S., paper presented to ITS 15th Biennial Conference, Berlin, September
38. S. Gillett, M. Kapor, 1997, The Self-governing Internet: Coordination by Design, in B. Kahin and J. Keller (eds) "Coordination of the Internet", MIT Press
39. D. Clark, M. Blumenthal, 2000, Rethinking the design of the Internet: The end to end argument vs. the brave new world, paper presented at TPRC Conference, Alexandria, September
40. J. Saltzer, D. Reed, D. Clark, 1984, End-to-End Arguments in System Design, *ACM Transactions in Computer Science*, 2:277-288
41. T. Wu, 2004, The Broadband Debate: A User's Guide, *Journal of Telecommunications and High Technology Law*, 3, 69
42. M. Lemley, L. Lessig, 2001, The End of End-to-End: Preserving the Architecture of the Internet in the Broadband Era, *The Berkeley Law & Economics Working Papers*, 2: Article 8
43. B. Owen, G. Rosston, 2003, Local Broadband Access: Primum Non Nocere or Primum Processi? A Property Rights Approach, Working Paper, Stanford Olin Program in Law and Economics
44. A. Thierer, 2004, 'Net Neutrality' Digital Discrimination of Regulatory Gamesmanship in Cyberspace?, Working Paper, The CATO Institute
45. R. Nelson, 1998, The Co-evolution of Technology, Industrial Structure, and Supporting Institutions, in G. Dosi et al. (eds), *Technology, Organization, and Competitiveness*, Oxford Univ. Press
46. O. North, 1990, *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*, Cambridge Univ. Press
47. D. Clark, K. Sollins, J. Wroclawski, R. Braden, 2002, Tussle in Cyberspace: Defining Tomorrow's Internet, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 13:462-475
48. D. Clark, K. Sollins, J. Wroclawski, T. Faber, 2003, Addressing Reality: An Architectural Response to Real-World Demands on the Evolving Internet, Proceedings of the ACM SIGCOMM workshop on Future directions in network architecture
49. B. Arthur, 2003, IT Reloaded, 15.07.2003 Issue of CIO Magazine, disponible en: <http://www.cio.com/archive/071503/reloaded.html>
50. W. Cohen, D. Levinthal, 1990, Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation, *Admin. Science Quarterly*, 1:128-152
51. European Commission, 2004, *Converging Technologies and the Natural, Social and Cultural World*, Special Interest Group Report for the European Commission via an Expert Group on Forecasting the New Technology Wave, 26.07.2004
52. ESTO-IPTS, 2004, *The Future of Mobile Communications in the EU: Assessing the potential of 4G*, disponible en: <http://fiste.jrc.es/pages/detail.cfm?prs=1199>
53. Collective, 2004, Virtual Round Table on ten leading questions for network research, *Eur. Phys. J.*, B 38:143-145

54. NewArch Project, 2003, New Arch: Future Generation Internet Architecture, Final Report, disponible en: <http://www.isi.edu/newarch/iDOCS/final.finalreport.pdf>
55. T. Gibson, 2004, Secure, Dynamic, Robust, and Reliable Networking, speech presented at the DARPAtech 2004 Symposium, Anaheim (CA), March, disponible en: <http://www.darpa.mil/DARPAtech2004/pdf/scripts/GIBSON-FINAL.pdf>
56. D. Clark, C. Partridge, J.C. Ramming, J. Wroclawski, 2004, A knowledge plane for the internet, Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications
57. P. Campos, R. Lester, M. Piore, 1999, Organizational Integration in Situations of Uncertainty: A Case Study of MITRE Corporation, Working Paper, MIT Industrial Performance Center
58. M. Piore, 2003, Stability and Flexibility in the Economy: Reason and Interpretation in Economic Behavior, paper presented at Colloque "Conventions et Institutions: Approfondissements Theoriques et Contributions au Debat Politique", Paris, December
59. C. Ramming, 2004, Cognitive Networks, speech presented at the DARPAtech 2004 Symposium, Anaheim (CA), March, disponible en: <http://www.darpa.mil/DARPAtech2004/pdf/scripts/RammingScript.pdf>
60. Collective, 2004, Autonomic Communications, Report on FET consultation meeting on Communication paradigms for 2020, Brussels, March, disponible en: <ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/fet/comms-50.pdf>
61. S. Dobson, 2004, Leveraging meaning into the network, Report on FET consultation meeting on Communication paradigms for 2020, Brussels, March, disponible en: <ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/fet/comms-53.pdf>
62. Collective, 2005, Pervasive Computing and Communications, Report on 9 Challenges identified in the brainstorming meeting of Vienna, Vienna, July, disponible en: <ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/fet/bthpcc-21.pdf>
63. N. Brownlee, kc claffy, 2004, Internet Measurement, IEEE Internet Computing, 5:30-33
64. R. Kumar, P. Raghavan, S. Rajagopalan, D. Sivakumar, A. Tomkins, E. Upfal, 2001, The Web as a graph, Proceedings of the nineteenth ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on Principles of database systems
65. A. Broder, R. Kumar, F. Maghoul, P. Raghavan, S. Rajagopalan, R. Stata, A. Tomkins, J. Wiener, 2000, Graph structure in the web: Experiments and models, Computer Networks 33:309320
66. M. Faloutsos, P. Faloutsos, C. Faloutsos, 1999, On Power-Law Relationships of the Internet Topology, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 4:251-262
67. R. Albert and A.L. Barabasi, 2002, Statistical mechanics of Complex Networks, Review of Modern Physics, 74:47-97
68. J. Kleinberg, S. Lawrence, 2001, The Structure of the Web, Science 294:1849-1850
69. M. Newman, 2003, The Structure and Function of Complex Networks, SIAM Review, 2:167-256
70. E. Ravasz, A.L. Somera, D.A. Mognu, Z.N. Oltvai, 2002, A.L. Barabasi, Hierarchical Organization of Modularity in Metabolic Networks, Science, 297:1551-1555

71. A.L. Barabasi, R. Albert, 2001, Emergence of scaling in random networks, *Science*, 286:509-512
72. R. Kumar, P. Raghavan, S. Rajagopalan, D. Sivakumar, A. S. Tomkins & E. Upfal, 2000, Stochastic models for the Web graph, *Proceedings of the 42st Annual IEEE Symposium on the Foundations of Computer Science*, Institute of Electrical and Electronics Engineers
73. W. Aiello, F. Chung, L. Lu, 2000, A random graph model for massive graphs, *Proceedings of the thirty-second annual ACM symposium on Theory of computing*
74. T. Ohira, R. Sawatari, 1998, Phase transition in computer network traffic model, *Phys. Rev E* 58:193-195
75. R.V. Sole, S. Valverde, 2001, Information transfer and phase transitions in a model of Internet traffic, *Physica A* 289: 595-605
76. S.N. Dorogovtsev, J.F.F Mendes, 2003, *Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and www*.OxfordUniv.Press
77. W. Willinger, R. Govindan, S. Jamin, V. Paxson, S. Shenker, 2002, Scaling phenomena in the Internet: Critically examined criticality, *PNAS*, 1:2573-2580
78. B. Bollobas, O. Riordan, 2003, Robustness and vulnerability of scale-free random graphs, *Internet Math*, 1:1-35
79. L. Li, D. Alderson, R. Tanaka, J. Doyle, W. Willinger, 2004, *Towards a Theory of Scale-Free Graphs: Definition, Properties, and Implications*, Technical Report, California Institute of Technology
80. Morgan Stanley Dean Winter, 2001, Global IU3, Brand Value, and Customer Monetization for AOL, Yahoo, eBay, Amazon, disponible en: <http://www.morganstanley.com/institutional/techresearch/globalliu.html?page=research>
81. P. Kavassalis, S. Lelis, M. Rafea, S. Haridi, 2004, What makes a web site popular?, *Communications of the ACM*, 2:51-55
82. L. Li, D. Alderson, W. Willinger, J. Doyle, 2004, A First-Principles Approach to Understanding the Internet's Router-Level Topology, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 4:3-14
83. A. Fabrikant, E. Koutsoupias, C. Papadimitriou, 2002, Heuristically Optimized Trade-offs: A New Paradigm for Power Laws in the Internet, *Lecture Notes In Computer Science*, 2380:110-122
84. J.I. Alvarez-Hamelin, N. Schabanel, 2004, An Internet Graph Model Based on Trade-Off Optimization, *Eur. Phys. J.*, B 38:231-237
85. A. Barrat, M. Barthelemy, A. Vespignani, 2004, Weighted Evolving Networks: Coupling Topology and Weight Dynamics, *Phys. Review Letters*, 22:228701-1,4
86. N. Eiron, K. McCurley, 2003, Locality, Hierarchy, and Bidirectionality on the Web, paper presented at Second Workshop on Algorithms and Models for the Web-Graph (WAW 2003), Budapest, July
87. F. Berman, H. Brady, 2005, Final Report: NSF SBE-CISE Workshop on Cyberinfrastructure and the Social Sciences, disponible en: <http://www.sdsc.edu/sbe/>
88. M. Castells, 2001, *The Internet Galaxy*, Oxford University Press
89. M. Castells, 2000, Materials for an explanatory theory of the network society, *British journal of Sociology*, 1:5-24

90. B. Arthur, 2000, Myths and Realities of the High-Tech Economy, paper presented at Credit Suisse First Boston Thought Leader Forum, September
91. R. Glass, 2005, IT Failure Rates—70% or 10-15%?, *IEEE Software*, 3:110-112.
92. N. Carr, 2004, Does IT Matter? Information Technology and the Corrosion of Competitive Advantage, Copyrighted Material
93. P. David, 2005, Towards a cyberinfrastructure for enhanced scientific collaboration: Providing its 'soft' foundations may be the hardest part, paper presented at Advancing Knowledge and the Knowledge Economy Conference, Washington DC, January
94. e-Infrastructure Reflection Group, 2005, e-Infrastructures Oportunities List, disponible en: <http://www.e-irg.org/meetings/2005-roadmap/OportunitiesList.pdf>
95. D. Atkins, K. Koegemeier, S. Feldman, 2003, Revolutionizing science and engineering through cyberinfrastructure, Report of the NSF blue-ribbon advisory panel on cyberinfrastructure, disponible en: http://www.communitytechnology.org/nsf_ci_report/
96. K. Anand, M. Goyal, 2005, Incentives for Information Acquisition and Information Dissemination in a Supply Chain, paper presented at MSOM Conference, Evanston, June
97. C. Dellarocas, 2003, The Digitization of Word-of-Mouth: Promise and Challenges of Online Feedback Mechanisms, *Management Science*, 10:1407-1424
98. D. Godes, D. Mayzlin, 2003, Using Online Conversations to Study Word of Mouth Communication, Working Paper, Yale University School of Management
99. C. Dellarocas, N.F. Awd, X. Zhang, 2004, Exploring the Value of Online Reviews to Organizations: Implications for Revenue Forecasting and Planning, Working Paper, MIT Sloan School
100. N.F. Awad, C. Dellarocas, X. Zhang, 2004, Is Online Word of Mouth a Complement or Substitute to Traditional Means of Consumer Conversion, paper presented at WISE Conference, Maryland, December
101. C. Dellarocas, P. Resnick, 2003, Online Reputation Mechanisms: A Roadmap for Further Success, Summary Report of the First Interdisciplinary Symposium on Online ReputationMechanisms, Cambridge (Mass.), April
102. C. Dellarocas, 2004, Sanctioning Reputation Mechanisms in Online Environments with Moral Hazard, Working Paper, MIT Sloan School
103. J. Stiglitz, 1989, Imperfect Information in the product Market, in R. Schmalensee and R. Willig (eds) "Handbook of Industrial Organization", Elsevier
104. S. Ioannides, 2005, Information and Knowledge in 20th Century Economics: From Prices, to Contracts, to Organizations, in Kouzelis et al (eds) "Knowledge in the New Technologies", Peter Lang
105. Morgan Stanley, 2004, An Update from the Digital World October 2004, disponible en: http://www.morganstanley.com/institutional/techresearch/pdfs/dw_syndication1004.pdf
106. Morgan Stanley, 2002, The Online Classified Advertising Report: It's About Search / Find / Obtain (SFO), disponible en: http://www.morganstanley.com/institutional/techresearch/pdfs/Online_Classified_Report112002.pdf
107. A. Diaz, 2005, Through the Google Goggles: Sociopolitical Bias in Search Engine Design, Masters' Thesis, Stanford University Program in Science, Technology and Society

108. N. Foss (ed), 1997, *Resources Firms and Strategies*, Oxford Univ. Press
109. *California Management Review*, 1998, Special Issue on Knowledge and the Firm, vol. 40, no 3
110. P. Glimcher, A. Rustichini, 2004, *Neuroeconomics: The Consilience of Brain and Decision*, *Science*, 306:447-452
111. A. Lippman, D. Reed, 2003, *Viral Communications*, Technical Paper, MIT Media Lab, disponible en: <http://dl.media.mit.edu/viral/viral.pdf>
112. D. Hales, B. Edmonds, 2005, *Applying the Tag Technique for Cooperation in Peer-to-Peer Networks*, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A, Special Issue On the Theme: Self-organization in Distributed Systems Engineering (to appear)*
113. J. Wareham, J. Zheng, D. Straub, 2005, *Critical Themes in electronic commerce research: a meta-analysis*, *Journal of Information Technology*, 20:1-19
114. G. Bloch-Morhange E. Fontela, 2003, *Mobile communication from voice to data: A morphological analysis*, *info* 2:24-33
115. Y. Benkler, 2002, *Some Economics of Wireless Communications*, *Harvard Journal of Law & Technology*, 1:25-83
116. K. Werbach, 2004, *Supercommons: Toward a Unified Theory of Wireless Communication*, *Texas Law Review*, 82:863-973
117. E. Noam, 1998, *Spectrum Action: Yesterday's Heresy, Today's Orthodoxy, Tomorrow's Anachronism. Taking the Next Step to Open Spectrum Access*, *Journal of Law and Economics*, 41:778-780.
118. W. Lehr, 2004, *Economic Case for Dedicated Unlicensed Spectrum Below 3GHz*, Working Paper, MIT Research Program on Internet and Telecoms Convergence
119. G. Hardin, 1968, *The Tragedy of the Commons*, *Science*, 162:1243-1248
120. G. Faulhaber, D. Farber, 2003, *Spectrum Management: Property Rights, Markets and the Commons*, in L. Faith Cranor and S. Wildman (eds), *Rethinking Rights and Regulations Institutional Responses to New Communications Technologies*, MIT Press
121. S.M. Benjamin, 2003, *Spectrum Abundance and the Choice Between Private and Public Control*, *New York University Law Review*, 78:1-72
122. J. Speta, 2002, *A Vision of Internet Openness by Government Fiat*, *New York University Law Review*, 1553-1572
123. G. Faulhaber, 2005, *The Question of Spectrum: Technology, Management, and Regime Change*, paper presented at the Conference "Digital Broadband Migration: Rewriting the Teleco Act", UC Boulder, February
124. OECD, 2004, *Secondary Markets for Spectrum: Policy Issues*, DSTI/ICCP/TISP(2004)11/FINAL, OECD, Paris
125. D. Grandblaise, C. Kloeck, K Moessner, E. Mohyeldin, M.K. Pereirasamy, J. Luo, I. Martoyo, 2004, *Towards a Cognitive Radio based Distributed Management*, paper presented at IST Mobile and Wireless Summit 2005, disponible en: http://e2r.motlabs.com/dissemination/conferences/E2R_ISTSummit05_Towards_Cognitive_Radio.pdf
126. R. Matheson, 2003, *The Electrospace Model as a Tool for Spectrum Management*, US Dpt of Commerce Proceedings of the International Symposium on Advanced Radio Technologies

127. D. Wentzloff, R. Blazquez, F. Lee, B. Ginsburg, J. Powell, A. Chandrakasan, 2005, System Design Considerations for Ultra-Wideband Communication, IEEE Communications Magazine, 8:5-13.
128. J. Bicket, D. Aguayo, S. Biswas, R. Morris, 2005, Architecture and Evaluation of an Unplanned 802.11b Mesh Network, paper presented at the MobiCom 2005 Conference, Cologne, August
129. S. Forge, C. Blackman, E. Bohlin, 2005, Assessing future mobile services and markets from a socio-economic perspective, IPTS Working Document, disponible en:
<http://fms.jrc.es/documents/Assessing%20FMS%20socio-econ%20perspV6-0>.

