

vt

informe de vigilancia tecnológica

serie
informes de tecnologías clave de la Comisión Europea

miod

tecnologías
de la información

vt
CE
8

Wolfgang Bibel

www.madrimasd.org



miod

vt

mi+d

informe de **vigilancia** tecnológica

serie
manuales de buenas prácticas

**tecnologías
de la información**

Wolfgang Bibel

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: Wolfgang Bibel

Traducción: Vaishali-Narain Mirchandani

Traducidos con el permiso de la CE.

7	RESUMEN EJECUTIVO
11	INTRODUCCIÓN
15	CAPÍTULO 1 El Reto Socio-Económico para Europa
19	CAPÍTULO 2 La Ciencia y Tecnología Basadas en las TI de Europa
27	CAPÍTULO 3 Actividades de la UE en Tecnologías de la Información
39	CAPÍTULO 4 Visión Futura: Retos a Largo Plazo e Ideales
	4.1 Introducción (PÁG. 41)
	4.2 Estructurando las TI (PÁG. 43)
	4.3 Inteligencia Artificial (PÁG. 46)
	4.4 Realidad Virtual y Aumentada (PÁG. 52)
	4.5 Interacción Hombre-Computadora (PÁG. 54)
	4.6 Campos de Aplicación de las TI (PÁG. 57)
	4.7 Uniendo lo Real y lo Virtual (PÁG. 62)
	4.8 Automatización de la Programación (PÁG. 68)
	4.9 Arquitectura de Sistemas (PÁG. 72)
	4.10 El Potencial de los Niveles de Abstracción (PÁG. 75)
	4.11 El Nivel Físico (PÁG. 76)
	4.12 Problemas y Desafíos (PÁG. 81)
85	CAPÍTULO 5 Conclusiones
91	CAPÍTULO 6 Referencias

Aquello que es posible no es independiente de aquello que creemos que puede ser posible. Las posibilidades de este tipo de desarrollos en el mundo práctico, dependen de que las personas que hacen ese mundo práctico funcionar las aprovechen con imaginación.

Neil MacCormick

Resumen ejecutivo

El presente informe revisa los retos y oportunidades de Europa especialmente en el campo de las Tecnologías de la Información (TI), teniendo en mente la consolidación del Área de Investigación Europea (*European Research Area*, ERA). Las TI figuran como la clave tecnológica más importante debido a su *papel dominante en todas las demás áreas y en la convergencia de las tecnologías*. Las TI merecen una atención especial y continua, no sólo por sus continuos progresos, sino también por su relevancia económica y social. Por ejemplo, el índice de desarrollo de la productividad de la economía europea está basado en un 50% en las TIC.

El reto europeo es desarrollar aún más su alto nivel educativo y su ingenio, sinérgicamente hablando, superar los conocidos fallos sistemáticos, romper con las inflexibles estructuras de las organizaciones, y hacerlo en armonía con su herencia cultural, social y natural. El uso de los métodos tradicionales para la construcción de esta estructura, ya no son suficientes para el cumplimiento de este propósito. Las TIC y, en especial, la Inteligencia Artificial (IA) y las Ciencias Cognitivas (CogSci, en sus siglas inglesas) junto con su *conocimiento tecnológico*, tienen el potencial para soportar este proceso de transformación.

El análisis de la ciencia, la base tecnológica y las actividades relacionadas con las TI que aparecen en este informe demuestran que es necesario realizar grandes esfuerzos para triunfar en la disputa con nuestros principales competidores. Europa se queda atrás si la comparamos con EEUU, Japón, etc. en una larga lista de hechos, como el número de patentes, la inversión en I+D y educación, el número de investigadores, el porcentaje de investigación corporativa, la baja tasa de empleo en el sector de las TIC, la lenta introducción de las TIC y su paradigma computacional en las demás áreas (especialmente en las ciencias sociales y humanidades), o los beneficios netos de los negocios, entre otros muchos. Europa debe aumentar sus esfuerzos de forma sustancial para poder competir con los actuales líderes tecnológicos. Por ello proponemos lo que llamamos los *planes de concesiones* o patrocinios (*awards scheme*), que fortalecerán completamente, el propósito de la ERA, sin dejar de ser un complemento a los actuales patrocinios (como el FP6).

El segundo propósito del informe es dar una visión general de los aspectos y tendencias clave de la investigación y desarrollo (I+D) en las TI. Esta visión general está estructurada en la Sección 4 alrededor de dos características de las TI: la necesidad de integración e inmersión rigurosa de las TI en todas las facetas de la vida (física, biológica, psicológica y social) y los niveles de abstracción que han ido evolucionando con las TI durante su desarrollo. Esta visión general crea una gran variedad de perspectivas detalladas para el desarrollo tecnológico en todos los subcampos de las TI.

Se consideran dos puntos de vista importantes. El primero se basa en la primera característica de las TI: la integración de sistemas *inteligentes* en los sectores lógico, humano y técnico. Esto es por lo que la IA, la realidad virtual, las Interfaces

Hombre/Máquina (multimodales) (HCI, en sus siglas inglesas), los robots humanoides y, de forma general, la unión y reconciliación de lo real con lo virtual se consideran como cuestiones muy importantes para el futuro de la I+D. Este punto de vista modificará pronto cualquier otra área de forma virtual (la Ciencia y la Tecnología, la ingeniería, el diseño, el desarrollo y la producción, los negocios, el gobierno y la administración, y otros muchos). Y la segunda perspectiva es transformar la producción software en una disciplina científica, incorporando nuevos paradigmas computacionales y conduciéndola hacia un alto grado de *automatización* e incluso aumentando la autonomía, robustez y tolerancia de los sistemas.

Teniendo en cuenta estos dos puntos de vista, el informe plantea cuatro grandes desafíos: la Automatización de la Programación basada en la especificación de los modelos de un sistema y de los entornos de forma descriptiva; el desarrollo de Robots Humanoides basados en los principios de la biónica y las ciencias cognitivas; el desarrollo de un Sistema Integrado de Transporte Público Híbrido y el desarrollo de un Sistema de Apoyo Judicial Semántico.

Las mayores conclusiones del análisis político, económico y tecnológico del informe se resumen en dos tablas que se presentan en la Sección 5.

Introducción

La Comisión Europea, la Dirección-General de Investigación, la Unidad K (“Ciencias Sociales y Humanidades; prospección”) y la Unidad K2 (“Prospección Científica y Tecnológica”) crearon un Grupo de Expertos de Alto Nivel en “Claves para la Tecnología en Europa”. El objetivo de este grupo fue preparar un informe sobre las tendencias de la ciencia y tecnología en quince áreas distintas y las implicaciones de las mismas en la política de investigación de la UE y de sus Estados Miembros. Como base para este informe, cada uno de los expertos preparó un perfil temático sobre su ámbito de experiencia. El presente informe, proporciona dicho perfil para las Tecnologías de la Información (TI).

El informe sigue el formato recomendado por el Grupo de Expertos, como se puede observar en los títulos de las cinco secciones de la tabla de contenidos. La Sección 1 describe el reto socioeconómico de Europa en el contexto de las TI. De ese modo, se indica la importancia de las TI para todos los demás ámbitos y se comentan varias directrices generales con las que Europa puede mejorar sus esfuerzos para estar a la par en liderazgo con sus rivales mundiales dentro de este sector. La Sección 2 amplía este análisis general y proporciona datos negativos y poco gratificantes, pero sin olvidar los indicios positivos que nos permiten esbozar un prudente optimismo.

Desafortunadamente, el tiempo y espacio del informe, no permiten un análisis satisfactorio en profundidad de las Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades (DAFO) de las TI, desde un punto de vista científico que -excepto para estudios más informales- tampoco suele encontrarse.

La Sección 3 expone las actividades TI dentro de la UE. Se presenta una propuesta para complementar la política actual de financiación con una política desde abajo (hacia arriba), calificada como *plan de concesiones*. Su objetivo es mejorar las condiciones de un mayor número de investigadores y desarrolladores excelentes tanto de instituciones públicas como de empresas privadas. Esto compensaría una debilidad estructural inherente con respecto a EEUU. Por otro lado, comentamos programas previos de la Comisión y sus efectos en la mejora europea dentro del sector de las TI desde una perspectiva global, además de ver las actividades de los Estados Miembros.

La parte principal de este informe se encuentra en la Sección 4 en la que examinamos el ámbito de las TI y sus posibilidades desde una perspectiva técnica. Como prerrequisito hemos estructurado el campo de forma sistemática y coherente, para evitar acabar con listas, más bien arbitrarias, como las que se pueden encontrar en informes similares (por ejemplo en Compañó et al. 2004, p.68f). La estructura se basa en dos principios: la introducción de los sistemas de TI en la realidad y en las principales capas de abstracción usadas en ellas y el alcance de sus aplicaciones desde el más alto nivel hasta un nivel físico. La sección al completo ofrece una rica variedad de desafíos, puntos de vista y oportunidades tecnológicas. Termina con una lista de desafíos, a los que es recomendable prestarles una especial atención en futuros programas marco de la UE (como el FP7).

El informe termina con una sección, que resume las principales conclusiones y presenta una matriz *DAFO*, junto a una lista de referencias. En conjunto, el informe está basado en informes y estudios previos citados en las referencias, incluyendo uno editado por el propio autor (Bibel et al. 2004). Con ello, intentamos obtener una sinopsis completa. Además, esta estructuración sistemática de las TI, ha llevado a reflexiones que sugieren la existencia de un equilibrio entre los distintos subámbitos de las TI. Este entendimiento puede diferir con respecto a otros informes anteriores.

Un informe de esta extensión no puede pretender cubrir de forma exhaustiva las TI a ningún nivel, aunque sí que abarca gran parte de ellas y de muchos otros temas científicos y tecnológicos. Solamente en el nivel más alto de abstracción esperamos haber tratado las partes más importantes. La selección de partes más detalladas se ha hecho a modo de ejemplo, de entre las infinitas posibilidades. Nótese que el área de las comunicaciones no se encuentra explícitamente incluida debido a que existe un informe paralelo sobre las Tecnologías de Comunicación (TC). Debido a que las TI están tan relacionadas con éstas, que incluso se suelen tratar conjuntamente como las TIC, no hemos podido evitar pensar en las TI como las TIC y también mencionar, brevemente, a las TC (en la Subsección 4.9). Además, el informe está orientado de forma técnica. No trata ni los aspectos más críticos de estas tecnologías, ni su impacto en los individuos, los grupos, la sociedad o el medio ambiente. Para estos dos temas nos remitimos a (Bibel et al. 2004) donde se tratan ampliamente. A este respecto, este informe intenta centrarse en las TI y no en, las más extensas, Tecnologías para la Sociedad de la Información (TSI)

El material aquí presentado muestra nueve tendencias generales que deberán tenerse en cuenta en la actual evolución tecnológica. Una de las principales tendencias es la *convergencia* de la ciencia y la tecnología (Nordmann 2004), que se relaciona estrechamente con el dominio de las TI sobre todas las demás ciencias y tecnologías, especialmente con el papel de conocimiento en las TI -desde el programado a gestionado a meta-conocimiento- (Bibel et al. 2004. Sección 4.1), como se expone en la Subsección 4.6. Por ello, se habla ahora de Tecnologías Convergentes (Cteks), principalmente basadas en Nano-, Bio-, Info- y Cogno- (NBIC) Tecnologías (Roco et al. 2002). La *miniaturización* (y un mayor grado de integración -vertical-) caracteriza la segunda tendencia. Chips, memorias, ordenadores, sensores y otros muchos dispositivos se hacen cada vez más pequeños, de hecho tanto que, en cierta manera, desaparecerán del medio y serán invisibles para el ojo humano (véase la Subsección 4.7). Unida a esta tendencia está cada vez más presente la *distribución* de dispositivos colaboradores (también llamada computación ubicua), como una futura tendencia. De la misma manera, la *distribución* de soluciones a problemas (por ejemplo, en forma de informática de redes o distribuida) es una tendencia actual, aunque existe desde los comienzos de la era de las TI (véase la Subsección 4.9). Los sistemas se vuelven cada vez más complejos al mismo tiempo que el nivel de *autonomía* aumenta, aunque sin una transparencia que pueda poner en peligro. Otra tendencia generalizada es la

continúa *migración* desde lo analógico a lo digital, de lo fijo a lo móvil, de la voz y el texto a equipos multimedia, sin tener en cuenta, en ningún caso, el lugar físico del equipo. La informática se ha ido desarrollando basándose en la tecnología CMOS, pero ahora experimentamos con el uso de una gran *variedad* de fenómenos físicos, químicos, biológicos, etc. para los procesos informáticos (véase la Subsección 4.11). Otra gran tendencia consiste en la *unión*, aún más cercana, de lo real y lo virtual, un tema tratado en detalle en la Subsección 4.7. Esta última tendencia demuestra una *aproximación* (o reconciliación) fenomenológica de lo virtual y lo real, algo completamente distinto (véase la Subsección 4.4). Por ejemplo, los sistemas muestran cada vez comportamientos más inteligentes (véase Subsección 4.3). En las conclusiones comentaremos las futuras tendencias tecnológicas.

CAPÍTULO 1

El Reto Socio-Económico para Europa

Europa presume de muchos atractivos: su rica herencia, su diversidad cultural, su cohesión social, su clima templado, su fértil suelo y sus bellezas naturales. Sin embargo, existen indicios preocupantes acerca del futuro de Europa: la competitividad económica con competidores formales, ya consolidados o emergentes (como China), el envejecimiento de sociedades cada vez más pequeñas, con duras consecuencias para los beneficios sociales de un país y sus sistemas de salud, el aumento del número de desempleados, el aumento de las deudas nacionales, la falta de liderazgo político para reformar estructuras obsoletas e inadecuadas, o el aumento de los costes en recursos importados.

El principal objetivo de Europa es superar estos problemas fundamentales y maximizar de forma sostenible la calidad de vida de su población, al igual que cualquier otro lugar en el mundo. De ese modo, factores importantes son la competitividad de la economía europea, para influenciar favorablemente en su balance industrial y, de esa manera, aumentar su riqueza, y su flexibilidad para adaptarse a los cambios rápidos en el entorno global, en el más amplio sentido. Competitividad y flexibilidad dependen, por encima de todo, de la capacidad de innovación científico-técnica del Área de Investigación Europea (European Research Area - ERA). Por todo esto, el reto consiste en aumentar esta capacidad a un nivel que pueda ser comparable al de sus competidores.

El potencial para un funcionamiento competitivo de Europa es enorme. El número de personas de alto nivel educativo y con gran talento se puede comparar, de forma positiva, con el de cualquier otro lugar del mundo. Muchas ideas provechosas tienen sus orígenes en Europa. Pero existe un fallo sistemático al explotar este potencial para que Europa sobresalga, en el ámbito económico, compitiendo con el resto del mundo. Según el Marcador de Innovación Europeo (EIS, en sus siglas inglesas), publicado por la Comunidad Europea cada año, la UE está por detrás de EEUU en siete de los diez indicadores que miden el éxito económico (EC 2002b). No analizaremos aquí el porqué de este fracaso, lo que ya ha sido analizado en otros muchos estudios.

Las tecnologías de la información (TI) son un ejemplo de este fracaso. Desde el invento del ordenador moderno de Konrad Zuse a principios de los años 40, muchas de ideas sobre las que se ha basado la evolución de las TI en los últimos sesenta años, han tenido sus orígenes en Europa. Pero Europa ha tardado mucho en comprender las oportunidades de las TI. En consecuencia, a excepción de algunos sectores de las TI donde Europa sí sobresale, el núcleo tecnológico lo conduce EEUU, Japón, y otros, con muchas consecuencias negativas para la dirección y la economía tecnológicas europeas. Las dificultades con las que se hace frente a los problemas fundamentales mencionados, pueden tener mucho que ver con estas consecuencias.

Entre las tecnologías dominantes, las TI tienen una importancia particular debido a su inherente naturaleza horizontal, tanto a nivel disciplinario como sectorial. Las TIC están revolucionando el funcionamiento de la economía y de la sociedad, y están generando nuevas formas de producción, negociación y comunicación. No hay otra

ciencia o tecnología ni ningún otro sector en la sociedad que pueda vivir sin las TI; es decir, las TI son esenciales para todos ellos. Las TIC se han convertido en el segundo sector económico más importante de la UE, con un mercado anual de más de 600 B (seiscientos billones de Euros) y con el empleo de más de 2 millones de personas en Europa, número que está al alza. El índice de crecimiento de la productividad de la economía europea se basa en las TIC en un 50% (Verheugen 2005). En EEUU llega incluso al 60% según lo precisado por la Comisaria para las TSI, Viviane Reding. Por ejemplo, el 90% de todas las innovaciones en la industria automovilística se basan en las TIC (Computer Zeitung Nr. 9, 28.2.05, p.2). De forma similar, las TIC están revolucionando el campo de las ciencias de la vida. Por ejemplo, el pequeño sector de los sistemas de información para los hospitales tiene previsto duplicar su volumen en el área de las TIC para el 2010 llegando a los 6 B\$ según un estudio de Frost&Sullivan. Las carencias en las TIC son carencias en todo, mientras que el liderazgo en las TIC apoya un liderazgo general. Es, por tanto, un gran desafío para Europa alcanzar al resto del mundo en las áreas esenciales de las TI. Si esto se consiguiera, muchos otros problemas podrían ser más fáciles de solucionar.

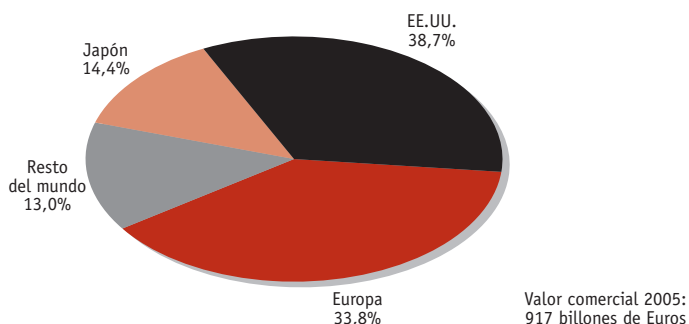
Aunque este desafío no es fácil de lograr hay oportunidades que no se pueden dejar escapar. En primer lugar, Europa puede crear sobre la solidez de algunas áreas dentro del software y las tecnologías de comunicación como el teléfono móvil, el procesado de tecnología móvil/inalámbrica, las plataformas integradas de negocios o las aplicaciones de software y servicios TIC (Compañó et el al. 2004, p.68f). Además, "Europa está adelantada dieciocho meses con respecto a EEUU en la introducción de redes tecnológicas." (Rifkin 2004, p.47). En segundo lugar, el desarrollo tecnológico en las TI está caracterizado, todavía, por interrupciones debidas a cuentos de hadas. Tales interrupciones se esperan tanto para el hardware futuro como para el proceso de producción del software (véase la Sección 4). Con lo que cualquier jugador sigue teniendo posibilidades reales de alcanzar a líderes anteriores. Según la estrategia de Lisboa, Europa, en estos momentos, está decidida a no dejar escapar sus oportunidades.

Una de las razones del fracaso sistemático ya mencionado, es la tendencia de obstaculizar las actividades de individuos o grupos motivados (por un sinfín de regulaciones, estructuras rígidas, etc.) en lugar de apoyar actividades mediante una cooperación sinérgica y sana rivalidad. Esta tendencia ha llevado a actividades y estructuras fragmentadas en todos los sectores. Los estados miembros de la UE tienen gobiernos con 25 variantes legislativas, reguladoras, educativas, financieras y sistemas de patentes. Esto hace que muchas iniciativas para una cooperación fructífera acaben bloqueándose. De hecho hay muchos más de estos sistemas puesto que, por ejemplo, en la Alemania Federal, cada uno de sus 16 estados tiene su propio sistema. Los europeos deben caminar en una misma dirección. Esto cobra importancia a medida que la estructura del mercado cambia hacia una red de comercio dentro de una economía globalizada (Rifkin 2004, Ch.8), donde el crecimiento cooperativo de confianza y la sinergia son factores esenciales. También tiene más importancia al ver que las

innovaciones en las TI (y en otras áreas) dependen, más que nunca, de los conocimientos técnicos (knowhow) en más de una disciplina, es decir, la naturaleza de converger ciencia y tecnología (Nordmann 2004). La capacidad intelectual y la base científica en las disciplinas individuales son primordiales. Entonces, lo que es necesario es una apertura hacia innovaciones fuera del territorio ya conocido, una gestión racional de los medios necesarios para explorar nuevas ideas, la colaboración sin grandes gastos indirectos, la transferencia directa de las nuevas técnicas a la industria, al negocio, a la administración y al gobierno, y unas normas, estandarizaciones y, de forma más general, un clima político que apoye la sinergia de la creatividad.

Las técnicas usadas en las TI para hacer frente a la complejidad de sus sistemas son, de hecho, un modelo creado para cumplir esta gestión tan racional (véase la Sección 4.6 para más detalles). Hasta ahora, las TI son mucho más que un sector horizontal en el sentido ya expuesto; en realidad, sus métodos tienen el potencial necesario para revolucionar incluso las disciplinas clásicas como, por ejemplo, las ciencias sociales.

FIGURA 1 *Mercado mundial de las TI por regiones.*



Fuente: EITO en cooperación con IDC.

Europa también debe generar un clima que sea más favorable para la adaptación de las nuevas tecnologías en el debate público con potencial para apoyar el desarrollo sostenible. Esto incluye la necesidad de mejorar la valoración de todos los agentes implicados en el área educativa, científica y tecnológica, a través de infraestructuras y sueldos apropiados. Los grandes científicos deben ser tratados como héroes *antes de que* salgan del país o mueran (como les sucedió a Einstein y a Zuse en sus patrias, y a otros muchos).

Una forma de mejorar la imagen de la ciencia y la tecnología (Science and Technology-S&T) consiste en la búsqueda de desafíos que tengan como objetivo la mejora de necesidades sociales básicas, tales como el transporte público o la tecnología médica preventiva (Bibel et al. 2004). Por lo tanto, Europa debe estructurar su política de financiación de manera que el desarrollo converja. Así mejoraría la situación de la población, de individuos, de grupos o de sociedades, todo ello conservando la sostenibilidad del entorno.

CAPÍTULO 2

La Ciencia y Tecnología Basadas en las TI de Europa

Existe una regla empírica que dice que una economía saca mucho más beneficio a una nueva tecnología cuanto antes esté preparada para competir. Según lo mencionado en la sección anterior, Europa perdió demasiado tiempo antes de reconocer la importancia de las TI. Para entender esta importancia, basta con notar el enorme tamaño del mercado de las TIC, incluyendo productos de software, servicios de las TI, y servicios portadores de telecomunicaciones. Se estima que para el 2005 este mercado rondará mundialmente los 2.044 B€ (billones de Euros) con unos 620 B€ correspondientes a la UE. Al mercado mundial de las TI le corresponden 917 B (el resto lo proporcionan las telecomunicaciones) con una distribución regional mostrada en la imagen anterior. El mercado de las TIC, con un índice de crecimiento del 4.3%, sigue creciendo de forma considerable y mucho más rápido que el PIB.

Dado el papel de las TI en, virtualmente, el resto de los sectores según lo precisado en la sección anterior, se podría explicar en conjunto, una parte esencial de los problemas tecnológicos y económicos de Europa. Por supuesto que nuestra situación no es completamente desesperanzadora, e incluso existen muchas señales tranquilizadoras, pero, ciertamente, no tan alentadoras como anticipó para el presente la estrategia de Lisboa o como algunos políticos desearían. Veamos algunos sucesos inevitables.

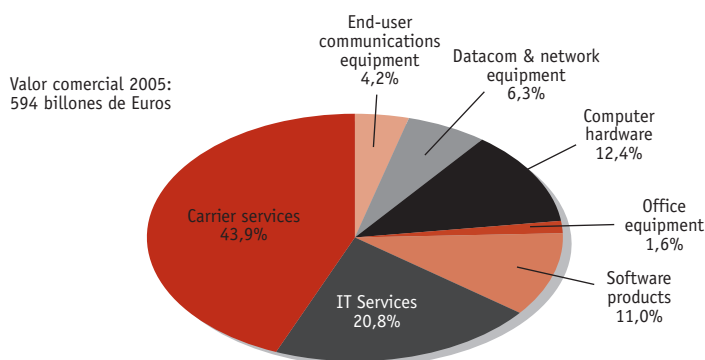
Globalmente, se considera a Europa como un jugador relativamente joven al competir en el importante mercado mundial de los semiconductores o de los circuitos integrados (CI) que registró ventas de 213 B\$ en el 2004; de todos modos, la producción europea basada en esta área no es acorde con su consumo y su peso industrial. Se espera que para el 2005 el mercado de CI de China se convierta en el mercado regional más grande del mundo con 34.3 B\$ (<http://www.icinsights.com>). La compañía Intel prevé un récord de ingresos de 34.2 B\$ para el 2004 (<http://www.intel.com>). Lo que aprendemos de estas dos potencias es que solamente los grandes jugadores pueden aprovecharse de un mercado mundial en rápido crecimiento. La imagen siguiente muestra la estructura del mercado en Europa occidental.

Ninguna empresa europea se sitúa en el top-ten de compañías, según el número de patentes lanzadas, evaluado por EEUU en el 2004. La mejor compañía europea es Bosch, en la 16ª posición, muy lejos de IBM, líder mundial que ha registrado 40.000 patentes. Generalmente, los países europeos representan, solamente, el 9% de las patentes registradas en la Oficina de Patentes Americana (American Patent Office, APO) comparado con el 21% de Japón o el 57% de EEUU. Incluso en la Oficina de Patentes Europea (European Patent Office, EPO), Europa está casi a la par con EEUU con un 36% de patentes (EC 2002a). En 2003, Japón tenía el número más alto de patentes “triadic” por millón de habitantes (93) seguido por los EEUU (53) y por la UE (31).

Según (Compañó et al. 2004, p.45) la proporción de patentes europeas relacionadas con las Tecnologías para la Sociedad de la Información (TSI) en relación con el resto de patentes registradas en la Oficina de Patentes Europea en 1999 estaba más de un diez

por ciento por debajo de esta misma proporción en EEUU. En este sentido, Corea y Japón van incluso mejor que EEUU. Solamente Finlandia, los Países Bajos e Irlanda son mejores que EEUU, tres países que, probablemente como consecuencia de esto, han demostrado una extraordinaria fuerza económica en comparación con el promedio de la UE.

FIGURA 2 Estructura del mercado ICT de Europa Occidental, 2004.



Fuente: EITO en cooperación con IDC.

Finlandia es un ejemplo que demuestra que las inversiones en educación y un mayor énfasis en las TI, pueden dar resultados muy positivos; el número de patentes relacionadas con las TSI sobrepasan en un 60%. Por el contrario, Alemania ejemplifica las consecuencias de mantenerse fiel a sectores tradicionales, ignorando los sectores dominantes, durante largos períodos de tiempo: en la producción automovilística acapara el 23% de la industria mundial (considerando las fusiones) mientras que en las TI desempeña un papel inferior. Su lucha económica actual (a pesar de los costes de reunión) tiene mucho que ver con estos hechos concretos.

El *ritmo de patentes* recién comentado es uno de los patrones clásicos para medir el desarrollo. También lo es el *nivel de inversiones* en investigación y desarrollo (I+D). Ajustando según la inflación, EEUU invierte un 38% más en I+D que en 1991, mientras que en Alemania este excedente, referido al mismo período, es solamente del 14.5%. En 2003 el esfuerzo en I+D (es decir, parte del PIB) ascendió al 1.93% en la UE, muy por debajo de EEUU (2.59%) y Japón (de las 3.15%), pero aún así por encima de China (1.31%). El índice de crecimiento del esfuerzo en I+D en la UE (+0.7% por año entre 2000 y 2003) está cerca del estancamiento y lejos del objetivo del 3% en 2010: si esto no cambiara, el esfuerzo europeo en I+D sería de un 2.20% en 2010. Si las tendencias continuaran, tanto en China (con tarifas de crecimiento anuales en esfuerzo de I+D alrededor del 10% desde 1997) como para la UE-25, durante los próximos años China se pondrá al nivel de la UE antes del 2010.

El objetivo es que los dos tercios de la inversión de I+D sean financiados por la empresa privada. En 2002, la empresa privada financió el 55,6% del gasto doméstico

de I+D en la UE, comparado con el 63,1% en los EEUU y el 73.9% en Japón. Este porcentaje disminuyó a razón del 0.6% al año entre 2000 y 2003 de modo que es muy poco probable que se cumplan estos objetivos antes del 2010. Si consideramos sólo el gasto público en I+D, ésta aumentó en un 40,3% en EEUU, en un 27,3% en Japón, en un 27.7% en el Reino Unido y en apenas un 3.9% en Alemania en el período 1998-2004. El ratio medio de aumento para las inversiones en I+D de las TIC en Europa entre los años 1997 y 2001 es, solamente, del 4%. Para las TIC en EEUU, el ratio de I+D es tres veces mayor al de Alemania.

Estas cifras generales se reflejan en las áreas más innovadoras, como la nanotecnología. Por ejemplo, EEUU ha lanzado la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI, en sus siglas inglesas), apoyada por fondos públicos que ascienden a 774 M\$ en 2003 y 847 M\$ en 2004, mientras que Japón invirtió 650 M\$ ya en el 2002 en esta misma área (BMBF 2004). En 2005 la inversión mundial en la investigación de la nanotecnología superó los 3 B\$. En comparación, la UE ha asignado 1.300 M para esta área dentro del FP6 que resultan unos 325 M al año. Estas cifras deben complementarse con inversiones a nivel nacional.

Las cifras para el sector educativo son igualmente pobres. Mientras que la UE está produciendo más licenciados en Ciencia e Ingeniería (S&E, en sus siglas inglesas) que EEUU y Japón, la inversión total en educación terciaria, como porcentaje del PIB, es más baja en la UE que en EEUU; y el número de mujeres continua resultando poco significativo. Generalmente, en los Estados Miembros la política de investigación se considera un "asunto ligero" en comparación con otros asuntos más importantes como la política económica, extranjera o militar. Esto no ocurre en EEUU. En el reciente "Proyecto 2020", del Consejo Nacional de Inteligencia, que analiza los factores más importantes de los progresos globales, las políticas de investigación figuran como uno de los factores más importantes (Frankfurter Allgemeine Zeitung 39, 2005, p.44). El proyecto advierte que en el 2020 las instituciones de investigación más destacadas podrían estar en China. Incluso ahora, la India y China tienen grandes inversiones en investigaciones básicas en las áreas de la nano-, material, bio-, e info- tecnologías. En esto se basa la idea de que ambos países pueden convertirse en líderes de las tecnologías dominantes con consecuencias (negativas) enormes para Europa e incluso EEUU. Incluso un país como Corea del Sur invirtió en el 2005 la cantidad de 654 M\$ en investigación básica. Es decir, las economías emergentes como China y la India no se limitarán a ser proveedores en masa de productos baratos sino que son, o pronto lo serán, competidores en el mercado de los productos y servicios de alta calidad y tecnología.

En el campo de la informática y de la tecnología, ya hoy, los institutos de mayor nivel investigador y educativo en China compiten de forma positiva con los de EEUU, entre ellos la Universidad de Beijing (Pekín), la Universidad de Tsinghua (Pekín), la Universidad de Hongkong de Ciencia y Tecnología, la Universidad de Fudan (Shangai), el Instituto de Informática Tecnológica y el Instituto de Software dentro de la

Academia Sinica (Pekín), la Universidad de Nanjing (Nanjing), Microsoft Research Asia (Pekín), la Universidad de Jiaotong (Shangai), la Universidad Tecnológica de Harbin, y otros. Los Institutos Tecnológicos de la India (*Indian Institutes of Technology*, IIT) poseen una alta calidad, similar entre ellos, tanto dentro del sector de las TI como en otros sectores. En la India esto ha conducido a un liderazgo internacional de muchas de sus compañías de software.

El número de investigadores en Europa no puede compararse con el de sus competidores. En 1997 tenía 5,28 investigadores (en equivalentes a tiempo completo) por cada mil manos de obra (en 1999 5,4; en 2001 5,7; en 2003 5,4) frente a más de 7 (9 en 2003) en EEUU y más de 8 (10,1 en 2003) en Japón. Dentro de la UE, Finlandia sobresale, una vez más, con la cifra de 10.62 (EC 2002a). Estas cifras se reflejan en el número de publicaciones. En 2003 EEUU iba a la cabeza con 809 publicaciones científicas por millón de habitantes, seguido de Europa con 639 y Japón con 569.

Una característica típicamente europea es el hecho de que solamente la mitad (49% en 2003) de sus investigadores están involucrados en empresas privadas, mientras que las cifras comparativas son del 80,5% en EEUU y 67,9% en Japón. Esta radical separación entre investigación y negocio causa un enorme retraso en la transferencia de los resultados de las investigaciones a los productos.

Dadas estas tendencias, no nos sorprende que desde 1900 a 1920 el 90% de los premios Nobel fueran europeos, mientras que en los últimos años esta cifra ha sido de un 25%. Europa está prácticamente ausente en premios que se conceden a pioneros en las TI (premio de Kyoto, concesión de Turing, etc.). Y todas estas tendencias indican que continuamos en declive.

Como dijimos al principio de esta sección no hay razón para ser completamente pesimista. Una mejora en la educación europea genera una gran cantidad de personas altamente cualificadas en las TI y en otras tecnologías claves. Aún así, un elevado porcentaje se pierde con la "fuga de cerebros", principalmente a EEUU (Compañó et al. 2004, p.40). Y dados los esfuerzos de los competidores europeos, la situación podría llegar a ser verdaderamente seria a menos que Europa acierte en su estrategia.

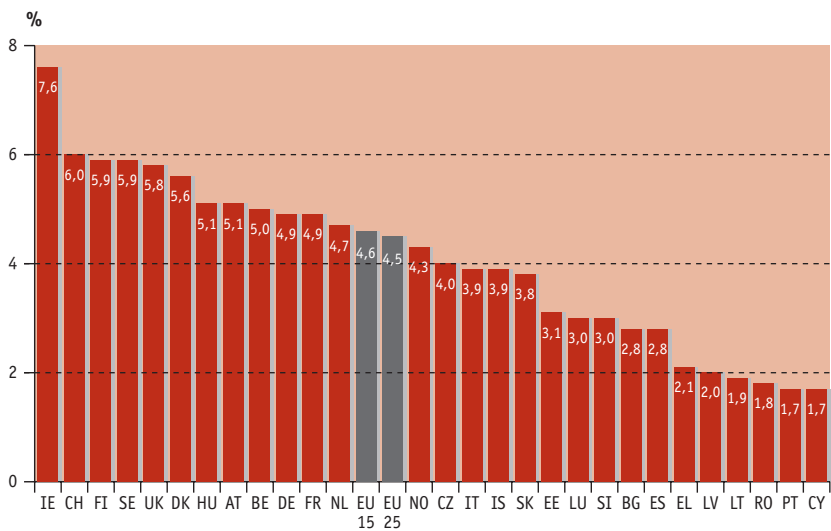
Adicionalmente, según lo mencionado en la sección anterior, la industria europea ha tenido éxito en capturar mercados y nichos importantes en el sector de las TIC (por ejemplo, en sistemas de comunicaciones móviles o inalámbricas, software de negocio y aplicaciones, microsistemas y sistemas fijos, tecnologías de redes distribuidas) en las que algunas compañías europeas importantes como Siemens, SAVIA, Nokia, DaimlerChrysler, Bosch, ARM, BT etc. están desempeñando importantes papeles. El área de la litografía nanoimpresa (NIL, en sus siglas inglesas), detallada en la Subsección 4.11 permite que la potente industria química europea sobresalga en un área particularmente prometedora.

Un factor importante en la innovación, crucial para el éxito, es la colaboración de los investigadores con la industria para acelerar de ese modo la transferencia de nuevas ideas. El Fraunhofer Gesellschaft con unos 2500 trabajadores en I+D y la segunda organización investigadora más grande de Europa en el campo de las Tecnologías de la Información, puede considerarse como modelo para este tipo de conexión fructífera entre la industria y la investigación científica. Suena prometedor que la CE del 11 de Marzo de 2005 adoptara unos Estatutos Europeos para los Investigadores y un Código de Conducta cuyos objetivos son dar a los investigadores carreras a largo plazo y mejorar sus condiciones de empleo y de trabajo.

Un aspecto positivo para un futuro próximo es el gran potencial que proporcionan los Nuevos Estados Miembros de la UE (NMS, en sus siglas inglesas) debido al alto nivel educativo de su gente, a su alta motivación y a la carencia de esas estructuras rígidas que tienen algunos de los antiguos miembros. En particular, Hungría lo está haciendo muy bien en el sector de las TIC. En la tabla de abajo se muestra la tasa de empleo en las TIC para los estados europeos en 2002, que se ha medido como el número de trabajadores en las TIC en relación con la mano de obra total (Stimpson 2004).

Todas estas cifras demuestran que el desempleo en las TIC sigue siendo un factor importante, aunque relativamente pequeño. Mucho más importante para el éxito económico es la transformación que las TIC provocan en otros sectores. El grado de esta transformación es especialmente bajo en los Nuevos Estados Miembros, razón por la cual se están quedando atrás en el desarrollo económico.

El grado de esta transformación en toda la UE está muy atrasado en el sector de servicios que está subdesarrollado tecnológicamente en Europa. Por ejemplo, aunque cerca del 70% de la población trabaja en el sector de servicios, está muy lejos en términos de exportación: en Alemania solamente el 14% de las exportaciones son de este sector en comparación con el 30% de EEUU. Esta gran diferencia sugiere una falta de competitividad. Esta valoración se apoya en el hecho de que la I+D en Europa todavía se centra en el sector de las industrias de fabricación aunque el sector de servicios tenga mucho más potencial en el futuro. De hecho, un análisis detallado de las cifras generales y las relacionadas con las TI revela que la mayoría del hueco de la I+D entre EU-US proviene del efecto combinado de los bajos esfuerzos de la I+D y del tamaño del sector de servicios y de la fabricación de las TIC. Además, el problema del crecimiento de la productividad en la UE en comparación con EEUU está situado principalmente en el sector de servicios que usan las TIC y en menor grado, en las industrias que producen TIC. Por esta razón retomaremos el tema de la importancia de las TIC en el sector de servicios en la Subsección 4.6.



CAPÍTULO 3

Actividades de la UE en Tecnologías de la Información

La Comisión Europea ha establecido una política para apoyar la investigación y desarrollo dentro de un marco que, en lo que respecta a recursos de financiación, podría caracterizarse como sigue. Se ha pedido consejo a expertos de todos los sectores, disciplinas y Estados Miembros acerca de las áreas que comprenden la I+D esperando un apoyo financiero para la prosperidad europea. Basándose en estos *marcos*, se han desarrollado, discutido con expertos y con los estados miembros, y refinado, distintos programas como resultado de estas interacciones. Posteriormente el Consejo ha aprobado estos programas. Basándose en estos programas la Comisión pide proyectos y propuestas y, con la ayuda de expertos, selecciona de entre todos ellos los mejores, es decir, a los que valdrá la pena apoyar. Los proyectos son nuevamente revisados por expertos y controlados por la Comisión mediante informes.

Aunque esto parezca un proceso justo y racional, no es el más óptimo. Implica mucho "overhead", es decir, mucho tiempo de procesamiento. La existencia de controles a varios niveles establece asociaciones superficiales del proyecto para cumplir así con los requisitos, y se limita el progreso en el ámbito tecnológico al no establecer las metas perseguidas.

Lo ideal sería combinar las fuerzas presentes en el entorno I+D europeo, con perspectivas para futuros desarrollos, elaboradas de forma lógica. Esta combinación requiere una base de datos compleja y actualizada de los investigadores y desarrolladores europeos y sus respectivos logros, incluyendo sus publicaciones y patentes, junto a una buena evaluación comparativa de estos datos. Basándose en este tipo de evaluaciones, se elegirían a los mejores candidatos que, además, figurarían según las perspectivas. Con esto, la financiación para su investigación y sus colaboraciones, sería mucho más efectiva -especialmente para investigadores y desarrolladores- que el procedimiento anterior y sin ataduras adicionales exceptuando un control sobre los resultados. Concretamente ahorraría tiempo efectivo de los investigadores y desarrolladores en, entre otras cosas, preparar propuestas de proyectos (exitosas o no), informes sobre los progresos, y así sucesivamente. En gran medida, éste es tiempo perdido para una investigación y desarrollo creativos. De hecho, es probable que genios como Einstein nunca hubieran tenido éxito con el sistema actual y, por tanto, no se les apoyaría de manera correcta.

Permítanme llamar a esta idea el plan de concesiones ya que, normalmente, las becas se dan así. No obstante, la mayoría de las becas, ya sea en instituciones públicas o empresas privadas, van dirigidas a investigadores o desarrolladores selectos y sobresalientes. Sin embargo, el propósito en este caso, se centra en un número relativamente grande de personas, grupos o compañías innovadoras inteligentes. Un ejemplo de plan de concesiones de este tipo fue emprendido de forma satisfactoria por el Instituto Canadiense para la Investigación Avanzada (Canadian Institute for Advance Research), que incluso pagó sueldos a profesores universitarios seleccionados, liberándoles así de muchas obligaciones no creativas y que requieren mucho tiempo.

El proceso de financiación previsto en esta propuesta sería, de alguna forma, revolucionario ya que los organismos reguladores serían los que se acercaran al investigador y al desarrollador en lugar de ser lo contrario, tal y como se lleva haciendo hasta ahora. Sigue siendo difícil que cualquier organismo público actúe al servicio del ciudadano en un sentido real. De hecho, la mayoría de legislaturas adoptan, de alguna manera, una visión contraria a la de instituciones públicas, es decir, una visión de una entidad reguladora y de supervisión. Por ende, la revolución tendría que comenzar con la legislatura.

La propuesta pretende *complementar* la política actual, no sustituirla en conjunto. Proyectos más grandes, plataformas e iniciativas tecnológicas, programas de intercambio, especialmente aquellos que apoyan a los investigadores jóvenes, sin duda alguna, tienen sus valores y no pueden sustituirse por actividades desde abajo hacia arriba (bottom-up) individuales organizadas incoherentemente. Sin embargo, se compensaría una carencia en Europa que, a diferencia con EEUU, pone de relieve cierta inflexibilidad en sus instituciones y empresas; se ha demostrado la incapacidad de encontrar talentos, especialmente jóvenes, que son el apoyo apropiado para desarrollar la creatividad. La excelencia sólo puede crecer desde abajo hacia arriba. Debido a este hecho también debería ayudarse a investigadores excelentes que trabajan de forma individual. Por la misma razón, un Instituto Europeo de Tecnología (EIT, en sus siglas inglesas) que concuerde en excelencia con el MIT no puede establecerse de arriba a abajo, así que, eventualmente, se podría desarrollar siguiendo el esquema propuesto.

Dentro de este contexto se puede considerar el establecimiento de un Consejo de Investigación Europeo. Éste podría supervisar el plan y garantizar que el organismo ejecutivo encargado no caiga en la misma trampa que todos los organismos anteriores: preocuparse por su propia autoestima y, de este modo, olvidarse de su verdadera función. Los nuevos Premios a los Jóvenes Investigadores Europeos (EURYI, en sus siglas inglesas) concedidos por la Fundación Europea de la Ciencia (FEC) y la asociación de los Consejos de Investigación Europeos (EUROHORC, en sus siglas inglesas) son un pequeño paso en dirección a un plan de concesiones. Pero con 25 becas al año a razón de 1M cada una, éstos serán demasiado selectivos y elitistas como para satisfacer la función prevista con nuestra propuesta.

Esta propuesta no tiene como objetivo criticar la actual política de financiación seguida por todo el mundo de manera similar, pero prevé una política futura aún más eficaz para Europa. Al contrario, creemos que la UE está ejerciendo su política de financiación bastante bien en relación con sus competidores, especialmente en el área de las TI. Entre los competidores están, en cierto modo, los Estados Miembros que, a menudo, actúan de forma algo rural y menos previsora que la Comisión. Las TI europeas no se habrían desarrollado en la medida en que lo han hecho desde principios de los ochenta, de no ser por varios programas dirigidas por la Comisión.

Su primer programa importante fue el ESPRIT, que comenzó en 1983, como respuesta, en cierta medida, al Fifth Generation Project de Japón. Me atrevería a decir que el proceso de identificación europeo estuvo fuertemente influenciado por este primer programa importante y exitoso. Fue un modelo para muchos de los programas siguientes de las TI y de muchas otras áreas. Poco después del inicio del ESPRIT se iniciaron los Programas Marco (FP) cuatrienales, con el FP1 en 1984, aunque solamente con el FP2 "comenzaron a considerarse como medios importantes para la creación de una política europea de I+D Tecnológico (RTD)" (Compañó et al. 2004, p.50). A partir de aquí se centraron en diversas áreas incluyendo las TI. Aunque las TIC hayan desempeñado un papel particularmente importante en cualquiera de ellos, su financiación disminuyó de un 40% en el FP2 a un 20% en el FP6. Estas cifras no incluyen las partes (pequeñas) de Recursos Humanos y Movilidad (RRHHM) en los FPs que por supuesto también contribuyen a las TIC.

A pesar de esta relativa disminución, las TI siguen desempeñando un papel importante en la Comisión. Este hecho se comprueba al ver que, a parte de la Junta Directiva General de Investigación, existe una Junta Directiva para las Tecnologías para la Sociedad de la Información (TSI) que se centra en mayor parte en las TIC y su papel en la sociedad. De hecho, se han aceptado las TIC, y cada vez más, como responsable del crecimiento actual, según se ha atestiguado con la última generación de productividad sin precedente de EEUU. Por lo tanto, desde el 2000 se han convertido en una prioridad esencial de la política en Europa según lo reflejado en los objetivos de Lisboa.

En la parte de la demanda, un bajo nivel de implantación de las TIC y el efecto del crecimiento de las medidas institucionales y reguladoras que apoyan los productos de las TIC, consecuencia de un crecimiento más robusto de los ingresos, crean grandes oportunidades para la difusión de las TIC en los sectores. En la parte de la oferta, las TIC acelerarán la convergencia verdadera y la reducción de los niveles de ingresos/riqueza entre diversas regiones (cohesión económica), y se acabará con la brecha digital - si las políticas lo permiten.

Ahora estamos en el FP6 (2002-2006), mientras que ya se van creando diversos informes inspirados en fuentes como Nordmann 2004, Wahlster 2004 u otras para el FP7. Se espera que el FP7 se ponga en práctica en el 2006. El presupuesto total del FP6 asciende a 17 B€ (billones de Euros) de los cuales 3.6 B€ se asignan a las TSI (Tecnologías para la Sociedad de la Información) que, por supuesto, incluyen a las TI. En comparación, la UE invierte 10 veces más en agricultura, o lo que es lo mismo, el 40% del presupuesto de la UE en el 2% de los empleos. Para el FP7 la Comisión estima un presupuesto de 13 B€ para las TIC. Las actividades que se realicen en esta área pretenderán estimular el desarrollo europeo tanto de tecnologías hardware como software y las aplicaciones en el seno de la creación de la Sociedad de la Información.

Puesto que la mayor parte de la financiación está limitada al 50% de los costes totales, el resto de los gastos que aportan los socios, la cantidad total de inversión es el doble aproximadamente. Las cifras dadas en la sección anterior demuestran que queda mucho para alcanzar los objetivos de Lisboa y para extender los acuerdos de financiación según la propuesta hecha al comienzo de esta sección.

Una característica innovadora en el FP6 son los esquemas de financiación adicionales para *proyectos integrados*, con un enfoque estratégico y orientado a aplicaciones, y *redes de calidad* que apoyan la colaboración de investigadores destacados en subáreas (EC 2002). Tanto los proyectos como las redes ya están dando resultados esperanzadores.

Debido al espacio del que disponemos, no podemos discutir sobre anteriores proyectos de TI financiados por la Comisión ni sobre el estudio detallado de los efectos de dichas financiaciones. De hecho, evaluaciones sistemáticas de este tipo son raras y no sobresalen ni en precisión ni en especificación, igual que nuestros informes. Sin embargo parece ilustrativo conocer algunos proyectos selectos para saber lo que ya se ha hecho y lo que todavía puede hacerse (se muestran otros ejemplos en el resto del texto).

El FP6 está financiando, principalmente, proyectos en el ámbito de las TI (más generalmente de las TSI) dirigidos a entender la idea de la Inteligencia Ambiental (AmI, en sus siglas inglesas) (Friedewald and Da Costa 2003). Este enfoque centrado en el usuario pretende ofrecer a cada ciudadano europeo, donde y cuando quiera, cualquier servicio, tecnología o aplicación. Los elementos técnicos importantes de este enfoque se listan en la tabla siguiente (para detalles técnicos ver la Sección 4). El proyecto de investigación básica subsiguiente es un buen ejemplo de esta directriz.

TABLA 1 *Tabla de los Elementos Técnicos de la AmI.*

<i>Ambiente</i>	<i>Inteligencia</i>
Sistemas Embebidos	Razonamiento de Sentido Común
Dispositivos I/O	Inteligencia computacional
MEMS	Conciencia del Contextual
Sensores	Informática y Emociones
Materiales Inteligentes	Multimedia
Comunicaciones Ubicuas	Interacciones Multmodales
	Comunidades y Entornos
	Participación
	Prototipado, hands-on
	Seguridad
	Ingeniería del Software
	Plataformas Tecnológicas
	Temas de Integración

WonderWeb es un proyecto europeo de TSI financiado por la iniciativa de Tecnologías Futuras y Emergentes (Future and Emerging Technologies, FET) dentro del FP6 (véase <http://wonderweb.semanticweb.com>). Dentro del proyecto, se creó una "Infraestructura de Ontología para la Web Semántica" (Oberle et al. 2005). El proyecto es un modelo para "consolidar las fuerzas" en la investigación europea y cuyo objetivo es el liderazgo europeo en tecnologías clave. Esta Web es, obviamente, de suma importancia para la ciencia y tecnología así como para la sociedad en general, ahora y en un futuro próximo. Sus funciones mejorarán con características semánticas. Éstas "entenderán" las intenciones de los usuarios mejor de lo que es posible mediante la sintaxis evaluada estadísticamente, tal y como hacen motores de búsqueda como Google.

Para llevar a cabo este sueño, se debe procesar el conocimiento en la Web que, de forma sucesiva, necesitará una ontología como herramienta básica representada en algunos lenguajes estándares. El lenguaje web ontológico, OWL, se desarrolló (entre otros logros) en este proyecto, lenguaje que se ha adoptado internacionalmente para la próxima semántica web. Este éxito se fundamenta puramente en la investigación en lógicas descriptivas dentro de la comunidad de investigación europea.

El proyecto podría servir de ejemplo a la idea del plan de concesiones comentado al principio de esta sección. Esto se debe a que los participantes podrían ser nombrados por los expertos internacionales en este campo porque saben que éstos son los actores clave en el área. Por tanto se podría ahorrar todo el papeleo que implica este o cualquier otro proyecto financiado por la UE simplemente otorgando a esos investigadores una financiación sin más ataduras. De hecho, los científicos *seniors*, como el autor, podrían contribuir fácilmente agregando nombres prometedores a la base de datos que hemos descrito anteriormente. (Esto también demuestra que el programa de HRM no es suficiente, como puede pensarse por lo que se propone aquí).

El proyecto CHIL (*Computers in the Human Interaction Link*) tiene como objetivo llevar a cabo la idea de la AmI para proporcionar servicios informáticos que se entregan a la población de forma implícita, indirecta y discreta mientras éstos obran recíprocamente con los seres humanos. Está compuesto por 15 socios competentes de Europa y de EEUU (<http://chil.server.de>).

El proyecto *Adaptive Services Grid* (ASG), coordinado por la Universidad de Potsdam (Catedrático Weske), desarrolla una plataforma software que combina las tecnologías de la Semántica Web (explicado arriba) y las Redes Distribuidas (véase la sección 4.9), un buen ejemplo de la integración vertical urgente de las tecnologías. Tiene 26 socios y se le considera un proyecto más bien grande, que planea tener un prototipo de la plataforma ASG antes del 2006.

El proyecto del FP6 Wear-IT-at-Home (<http://www.wearITatwork.com>) con 36 colaboradores líderes (Airbus, SAVIA, Siemens, etc.) y bajo la coordinación del

catedrático Otthein Herzog, tiene como objetivo no sólo llevar a cabo la idea de la AmI en el sector del modelado de procesos de trabajo, sino que además agrega la ya mencionado potencia europea en sistemas móviles. El proyecto se centra en los sistemas vestibles que apoyan los procesos de trabajo en oficinas, fábricas o en el campo (por ejemplo, para el mantenimiento). Esto abarca hardware, sistemas de entrada-salida (I/O) y software. El proyecto se basa en 4 escenarios prototipo: emergencias (bomberos), hospitales, industria aeronáutica e industria automovilística.

El proyecto Apnee-Tu (coordinado por el Instituto de Investigación Aplicada de Fraunhofer, catedrático Thomas Rose) es un ejemplo exitoso de una asociación pública/privada que ha llevado a la comercialización de informaciones de cuerpos reguladores por medio de negocios.

Otro proyecto financiado por la UE es Macs (*Multi-sensory Autonomous Cognitive Systems Interacting with Dynamics Environments for Perceiving and Using Affordances*). Su objetivo es construir robots que reaccionen a diferentes circunstancias de forma flexible, mediante la exploración.

Mirror es un proyecto financiado por la UE que está inspirado en las llamadas neuronas espejo de los primates, caracterizadas por el hecho de que no solamente se despiertan cuando el animal agarra sino también cuando ven a otro agarrar (es decir, reflejan el comportamiento de los otros animales en el suyo propio). De forma parecida, el proyecto desarrolla un sistema llamado Cyber Glove recoge los datos visuales y de movimiento permitiendo a un robot humanoide con brazo y dedo comportarse de una manera compleja. El proyecto ha demostrado la importancia de la representación y del entendimiento para una actitud de aprendizaje².

El proyecto RobotCup (<http://www.robotcup.org>), cuyo coordinador técnico es David Vernon, tiene como objetivo genérico el desarrollo de un robot humanoide con capacidades cognitivas adquiridas por la exploración, la manipulación y la imitación de su entorno. El proyecto también creará una plataforma de código abierto (*open source*) para robots desarrollados fuera del Yarp (otra plataforma de robots).

La ORCHESTRA (*Open Architecture and Spatial Data Infrastructure for Risk Management*) está construyendo una infraestructura genérica de software para hacer frente al riesgo y a los desastres (<http://www.eu-orchestra.org>).

Swarm-bots es un proyecto del FET, cuyo coordinador e inventor del concepto de *swarm intelligence* es Marco Dorigo de la Universidad Libre de Bruselas. El proyecto pone de

² Las neuronas espejo fueron descubiertas por primera vez por Vittorio Gallese y Giacomo Rizzolatti de la Universidad de Parma. Recientemente, junto con Marco Iacoboni, descubrieron otra función de las neuronas espejo (Iacoboni et al. 2004). Después de su primer gran éxito, ahora están trabajando en la Universidad de California, Los Ángeles, pero no en Europa, hecho que no dice mucho a favor de la actual situación europea.

relieve robots que cooperan inteligentemente, como algunos insectos (hormigas) y, recientemente, el FET lo ha considerado como una de sus historias de éxito (<http://www.cordis.lu/ist/fet/press.htm#success>).

Proyectos como estos cinco últimos, categoría de la cual se podrían dar muchos más ejemplos, son deseables porque requieren típicamente la participación de expertos en varias disciplinas que raramente se encuentran en una única institución o en un único Estado miembro. Por eso, sólo a escala europea sería posible aunar la maestría colectiva a un nivel internacional de calidad. En algunos casos incluso participan investigadores no europeos, por ejemplo en RobotCup, con Rodney Brooks del MIT como socio. Por lo tanto, un ingrediente importante en la política de financiación de la UE debería ser el animar a los científicos a cooperar en desafíos como estos.

Ocasionalmente esto da lugar incluso a la creación de una nueva área, como sucedió con el área de Vista Cognitiva de Ordenadores (*Cognitive Computer Vision*) accionada en el FP5. Es de naturaleza convergente y amplía el alcance tradicional de la Visión de los Ordenadores más allá del reconocimiento de objetos y otras tareas comunes de la vista para incluir una amplia gama de características cognitivas. Se lanzó con la financiación de una red de Investigación europea (<http://www.ecvision.org>) que incluyó el diseño de un mapa itinerario de la investigación (Research Roadmap) (http://www.ecvision.org/research_planning/Research_Roadmap.htm) para esta área así como para 9 proyectos en el FP5 y, hasta ahora, para 10 proyectos en el FP6, siendo RobotCup uno de ellos.

Ya comentamos en la sección anterior que Europa destaca en tecnología de redes distribuidas. Se ha decidido añadir un número de medidas y unos fondos por encima de los 350 M€ (Rifkin 2004, p.47f). El proyecto *Enabling Grids for E-Science in Europe* se ha ideado para crear la infraestructura internacional de redes distribuidas más grande del mundo, que funcionará en setenta instituciones por toda Europa con unos veinte mil PCs (véase también la Subsección 4.6). Otro proyecto, coordinado por el Centro Nacional de Francia para la Investigación Científica, conectará siete superordenadores en Europa a velocidades de fibra óptica. Volveremos a hablar de redes distribuidas en la Subsección 4.9.

El programa de la CE organiza, principalmente, dos actividades externas para examinar el futuro de las TIC: FISTERA e ISTAG. FISTERA (*Foresight on IST in Europe Research Action*) es una serie de proyectos, mientras que ISTAG es el *Programme Advisory Group* de las TSI que ha establecido una serie de grupos de trabajo para ver el futuro de estos temas. Se ha hecho mucho en computación ambiental, lo cual se comentará más detalladamente en la sección siguiente. Las Tecnologías Futuras y Emergentes (Future and Emerging Technologies, FET) de las TSI, mencionadas anteriormente, apoyan los proyectos de investigación con visión de futuro, que ayudan a definir y a concentrar las nuevas áreas de investigación en futuras TSI. Esbozaremos aquí la actividad de ISTAG.

ISTAG es un grupo asesor formal con miembros designados por la CE y complementados por un grupo de Impacto Social³, creado en 2002 para dar consejo a la Comisión sobre el futuro de las IST en los FP. Las actividades de ISTAG se organizan alrededor de los principales temas que ayuden a conseguir lo anterior; pueden abarcar:

- El *contenido de la investigación de las IST*, incluyendo una notable revisión - pero no la reescritura - y una puesta al día de la Idea de Inteligencia Ambiental (ISTAG WG1);
- Las *infraestructuras de investigación*, recursos humanos e instalaciones incluyen una reflexión de cómo Europa podría construir o reforzar sus centros de excelencia para que sean referencias mundiales y así, atraer a los mejores investigadores internacionales (ISTAG WG2);
- La *explotación de los resultados de la investigación* y conexiones entre el desarrollo de la investigación en tecnología y los estándares mundiales, temas relacionados con la usabilidad y aceptación para la mejora del impacto investigador. (ISTAG WG3);
- *Mecanismos de financiación* y asociación; esto incluiría la cooperación entre distintos tipos de organizaciones (universidades, laboratorios nacionales, grandes empresas, PYMEs), la coordinación de las TSI y las actividades e iniciativas a escala nacional con, en concreto, modelos y estrategias para una mejor participación de los “nuevos Estados Miembros” (ISTAG WG4).

Los ideales de ISTAG, en términos de perspectivas de investigación, se tratan en la sección siguiente. Para el futuro de la I+D y las agendas políticas relacionadas, ISTAG repasó el trabajo de 2002-03 y resumió recientemente sus opiniones (ISTAG 2003), que pueden verse en las siguientes áreas claves.

- *Investigación para la integración* - mediante el uso de distintas tecnologías para lograr los objetivos.
- *Estándares abiertos* - permiten la innovación y la flexibilidad; así permiten el trabajo cooperativo.
- *Interoperabilidad* - necesaria para diversas implementaciones y capas.
- *Enfoque de niveles de sistemas* - dominan la complejidad apuntando a la integración de subsistemas y sistemas.
- *Utilización de recursos disponibles* - objetivos de enfoque en investigación en cohesión con la ERA.

³ “...El grupo explorará escenarios e ideas para los progresos socioeconómicos de la Sociedad de la Información y del Conocimiento. Funcionará como grupo de reflexión que dará sugerencias en cuestiones de política e investigación, e investigará el mejor uso de las TICs en negocios y en la vida cotidiana. El papel de las autoridades públicas en estos progresos, incluyendo el marco regulador, tendrá un enfoque importante...”

- *Alineación de concesiones públicas* - usando el 15% del PIB, como usuarios líderes, para crear mercado.
- *Grandes desafíos* - para demostrar que los sistemas basados en la tecnología pueden resolver grandes problemas.
- *Centros de Experimentación y Aplicación en laboratorios y en casos reales* - como colegios y hospitales.

El requisito previo para producir los mejores investigadores en las TI o en cualquier otro ámbito es un sistema educativo de alta calidad. De nuevo, las herramientas nacionales no suelen parecer lo suficientemente efectivas como para estimular innovaciones en el sistema. Claro está que la UE, debido a su construcción legislativa, está limitada a un número de medidas, tales como la concesión de becas a educadores excelentes en el sentido del plan propuesto anteriormente. Otra de estas medidas es el programa de excelencia Erasmus Mundus que se define como sigue.

“El programa Erasmus Mundus es un programa de cooperación y movilidad en el campo de la educación superior (véase http://europa.eu.int/comm/education/programmes/mundus/index_en.html). Pretende realzar la calidad en la educación superior europea y promover la comprensión intercultural mediante la cooperación con otros países. El programa intenta consolidar la cooperación y los vínculos internacionales entre países europeos en relación a la educación superior apoyando Cursos de Másteres Europeos de alta calidad, permitiendo a estudiantes y becarios de todo el mundo engancharse a estudios de postgrado en universidades europeas, así como animando a los estudiantes y becarios europeos a moverse por otros países.”

Se ha presupuestado para el programa una financiación de 230 M€ para el período 2004-2008 que además complementa el programa Erasmus que ya existe desde 1987. Es un programa muy popular entre los estudiantes. Unos 1,2 millones de estudiantes ya han sido patrocinados para estudiar en otros países de la UE por un tiempo limitado. Pero también los profesores están aprovechando estas oportunidades; en 2003/2004 18.500 profesores enseñaron en otras universidades. Probablemente, no haya una mejor manera de intercambiar conocimientos entre los Estados Miembros, fomentar la integración de Europa y la cooperación con el resto del mundo a escala educativo.

No podemos presentar un análisis detallado de programas de financiación en las TI dentro de los Estados Miembros debido a una falta de espacio y tiempo. En términos económicos, estos programas sobrepasan la financiación de la UE en gran medida. Por ejemplo, Alemania ha financiado la I+D solamente en micro-sistemas con 540 M€ entre los años 1990 y 2002. En (Rogers 2004) se describen las perspectivas de futuro para las TIC en 11 Estados Miembros (Austria, Bélgica, República Checa, Francia, Alemania, Hungría, Irlanda, Países Bajos, España, Suecia, y Reino Unido).

Un análisis de los asuntos clave en sus programas dio lugar a la siguiente observación: no hay, en gran medida, esfuerzos suficientes para un empuje tecnológico, tal y como se había propuesto en la estrategia de Lisboa. La mayoría de los esfuerzos se centran en asuntos de “nueva generación-” y aplicaciones-tipo y no en las nuevas áreas de la investigación.

CAPÍTULO 4

Visión Futura: Retos a Largo Plazo e Ideales

- 4.1 Introducción (PÁG. 41)
- 4.2 Estructurando las TI (PÁG. 43)
- 4.3 Inteligencia Artificial (PÁG. 46)
- 4.4 Realidad Virtual y Aumentada (PÁG. 52)
- 4.5 Interacción Hombre-Computadora (PÁG. 54)
- 4.6 Campos de Aplicación de las TI (PÁG. 57)
- 4.7 Uniendo lo Real y lo Virtual (PÁG. 62)
- 4.8 Automatización de la Programación (PÁG. 68)
- 4.9 Arquitectura de Sistemas (PÁG. 72)
- 4.10 El Potencial de los Niveles de Abstracción (PÁG. 75)
- 4.11 El Nivel Físico (PÁG. 76)
- 4.12 Problemas y Desafíos (PÁG. 81)

Esta sección pretende cubrir las contribuciones básicas del actual informe. Mientras que las secciones anteriores han tratado el pasado y el presente, ahora nos adentraremos en el futuro tecnológico proyectando el estado del arte y las tendencias actuales para los siguientes 10 o 15 años.

La presentación sigue un esquema desde lo más complejo hasta lo más básico (top-down) que se describe con más detalle en la primera subsección. Cada subsección no sólo destaca perspectivas prometedoras en la subárea específica de las TI sino también oportunidades específicas para el Área de Investigación Europea.

4.1 Introducción

Las Tecnologías de la Información (TI) pertenecen a un campo muy amplio. Una perspectiva de su desarrollo futuro debe estructurar el campo de forma significativa siguiendo cierta abstracción. El punto de vista abstracto que se ha tomado aquí se describe, de forma detallada, en la siguiente subsección. Esto incluye una restricción concisa de lo que se entiende como las TI. La subsección también fija los indicadores para el resto de contenidos de la sección.

La estructura que se sigue en esta sección va desde lo más complejo hasta lo más básico. Complejo es el nivel fenomenológico de los sistemas de TI en ciertos ambientes, básico es el nivel físico de dichos sistemas. Entre medias encontramos diversos niveles de abstracción comunes a estas áreas.

En las TI hemos experimentado la tendencia de modelar la realidad en sistemas informáticos. Literalmente, no existe ninguna parte de la realidad que no sea objeto de dicho modelado, incluyendo a los seres humanos inteligentes como el mayor de los desafíos. Esto justifica por qué empezamos con la Inteligencia Artificial y la Realidad Virtual, en las subsecciones 4.3 y 4.4 respectivamente, como los comportamientos más generales de sistemas.

Los sistemas están basados en la realidad, y más aún, son utilizados por el ser humano en una gran variedad de sus actividades cotidianas. En el nivel fenomenológico tenemos que tener en cuenta la interacción entre sistemas y humanos, y sistemas y áreas de aplicación. Es por ello por lo que se tratan estos temas en las secciones 4.5 y 4.6. Además de su interacción con los humanos, los sistemas también interactúan con la realidad, incluyendo la realidad física, tema de la Subsección 4.7. Así que las secciones 4.3-4.7 tienen que ver con el modelado del mundo real y su interacción con estos aparatos.

Virtualmente cualquier sistema de TI está compuesto por software y hardware. El estudio de este tipo de sistemas está estructurado, generalmente, en términos de niveles de abstracción. En el nivel superior tenemos el software programado en lenguajes de alto nivel. La programación es, por ello, el siguiente tema en la Subsección 4.8. El nivel arquitectónico es uno de los niveles intermedios más importantes, que se trata de forma separada en la Subsección 4.9, mientras que en la 4.10 se contemplan todos estos niveles de forma simultánea. El nivel más específico es el físico, que se cubre en la Subsección 4.11.

Cada uno de estos nueve temas ofrece una perspectiva fascinante para un futuro desarrollo y el texto apunta hacia una gran variedad de oportunidades tecnológicas. Se puede encontrar una lista de tecnologías más extensa en una tabla (Compañó et al. 2004, p.68f) junto con un indicio del lugar que ocupa Europa en comparación

con sus competidores en cada una de ellas. Todos estos indicadores se proporcionan con la idea de que la ERA aproveche estas oportunidades para un desarrollo económico beneficioso para Europa. Aparte de estos consejos detallados, la sección termina con la Subsección 4.12 en la que hay una lista con desafíos que sugerimos que se consideren de forma especial para el siguiente Marco de Programa Europeo (*European Framework Programme*), el FP7.

4.2 Estructurando las TI

Un área como las Tecnologías de la Información (TI) es tan amplia que la identificación de tendencias requiere un especial nivel de abstracción para evitar caer en un mar con millones de detalles. Para que esta abstracción sea efectiva, necesita basarse en las características de cada campo de las TI. ¿Cuáles son las características de las TI y de la informática que hay detrás?

Como su propio nombre indica, las TI tienen que ver con la información y su tratamiento. Así que... ¿qué es la información? Básicamente, la información requiere de dos cosas: un componente físico y un proceso de interpretación. Por poner varios ejemplos: los jeroglíficos contienen información sólo para aquellos que conocen el código para interpretarlos, los múltiples significados del lenguaje según el contexto, el ADN que sólo puede leerse con procesos bioquímicos de la naturaleza y por la biotecnología, el programa almacenado en la memoria de un ordenador en código binario sólo puede ser ejecutado si el ordenador tiene un compilador o un intérprete... En cualquiera de estos ejemplos hay un patrón físico (los jeroglíficos, las cadenas helicoidales del ADN, la secuencia de bits) y un proceso de interpretación.

El patrón físico puede ser digital o continuo. Los tres ejemplos anteriores utilizan un patrón digital. Un ejemplo de un patrón continuo es cualquier frase oral (dirigida a un receptor que hable el mismo lenguaje).

La naturaleza tiene una gran variedad de procesos de interpretación. Además de nuestro ejemplo de procesos bioquímicos destinados a la interpretación del ADN, podemos buscar otro ejemplo en la física. Pensemos en una partícula A que choca con otra partícula B. El impulso de B después de la colisión es el resultado de cierta combinación del impulso inicial de A y el impulso de B antes de chocar. Así, el impulso de la partícula puede ser catalogado como un patrón físico que se interpreta como un proceso físico llamado colisión. Hay innumerables fenómenos físicos como nuestro ejemplo de colisión de partículas. En otras palabras, los procesos de información son abundantes en el mundo físico; el fenómeno mecánico-cuántico de la materia puede verse como fenómenos informativos. Estamos adentrándonos en la era de la informática post-silicio y tenemos que tener en cuenta este hecho, y es por esta razón por lo que hemos empezado esta subsección con comentarios tan genéricos.

Los ordenadores procesan información pero son especiales en un sentido. Actualmente procesan (o interpretan) información universal, lo que significa que *cualquier* proceso informático puede simularse en un ordenador. Esta declaración esta sujeta a la tesis de la Iglesia que ha aceptado generalmente la informática tradicional (mientras que nuevas formas como la computación cuántica -véase Sección 4.11- pueden cambiar esta actitud). Esto es lo que hace de los ordenadores herramientas tan flexibles y útiles.

El periodo de evolución de los sistemas informáticos durante los últimos 50 años ha abierto un amplio hueco entre el mundo informático/virtual/artificial y el real. Los patrones que recibe un sistema para interpretar (en el sentido del concepto de información definido arriba) son normalmente un simple reflejo de los patrones originales de la realidad. Sin embargo, la computación natural (o procesado de información) está íntimamente unida a otros patrones (físicos, químicos, biológicos, etc.). Por todo esto, se ha reconocido que la computación natural debería estar más adherida al mundo real (físico, biológico, cognitivo y social). Esta es una razón más seria para la reciente aparición de temas como la inteligencia ambiental, computación ubicua y demás; estos temas se tratarán en las siguientes cinco subsecciones.

Volviendo al tema del procesado de la información llevado a cabo por los ordenadores, una característica fundamental de la metodología subyacente es la diferenciación de distintos niveles de abstracción. El nivel más básico está caracterizado exclusivamente por procesos físicos; en otras palabras, los ordenadores de este nivel son instrumentos físicos⁴. El siguiente nivel se abstrae de los detalles físicos y se caracteriza por bits. Con varios niveles intermedios (tales como arquitectura de ordenadores, máquinas abstractas, ensambladores, sistemas operativos, lenguajes de programación eficientes) podríamos llegar al nivel de aplicación donde el ordenador puede sustituir, de alguna manera, a un experto del campo de operación. Todavía no hemos llegado al nivel en que los expertos podrían comunicarse con los ordenadores de la misma manera que se comunican con sus iguales.

Utilizar programas en los ordenadores consiste, parcialmente, en interpretar procesos que transforman información de un determinado nivel en información del nivel anterior. Todavía existe un gran potencial de mejora en cada uno de estos niveles, sobre todo cuando los equipos informáticos están integrados en sistemas técnicos y reales, como hemos descrito antes. Este potencial se discute en la Subsección 4.11 para el nivel físico y en la 4.10 para los niveles superiores. Las subsecciones 4.8 y 4.9 también tienen que ver con este tema, e incluso tratan temas de especial relevancia. Sus contenidos serán comentados brevemente a continuación.

Cualquier sistema puede caracterizarse de dos maneras distintas: según sus especificaciones requeridas y según su código. La especificación hace que la función del código sea accesible a los usuarios (y sistemas) de una manera declarativa. Es más abstracto en el sentido en el que diferentes códigos pueden referirse a la misma especificación (cuando puede que diferentes especificaciones no se refieran al mismo código). La especificación es, por tanto, la pieza de información apropiada para caracterizar el sistema y su integración en el medio. Este hecho se usará en los siguientes apartados.

⁴ Uno tiene que tener en cuenta que desde el punto de vista humano, este nivel físico no es accesible con nuestros conocimientos cognitivos sino mediante, una vez más, abstracción descriptiva en algunos lenguajes técnicos.

En un principio, la especificación es todo lo que uno necesita para derivar de ella, automáticamente, un sistema de trabajo. La síntesis de programas, como se llama al método subyacente de la derivación, ha demostrado ser extremadamente compleja en general. Tendencias recientes de diseño orientado a objetos han dado un empujón a los esfuerzos dedicados a la programación automática hacia un nivel superior, centrándose alrededor del UML. Debido al gran mercado actual de software (valorado en miles de millones de euros), este tema tiene una importancia esencial, que trataremos en la Sección 4.8.

Con una visión apropiada a las especificaciones, se podrán conseguir avances rentables en el futuro. Por ejemplo, podrán permitirnos identificar problemas comunes, así como poder compartir componentes, de una manera sistemática. También nos proporcionarán una interoperabilidad mejorada de los distintos sistemas. Si la especificación incluye un modelado del medio, usuarios incluidos, se puede mejorar sustancialmente la integración en su sentido más amplio. También tratamos estos temas en la Sección 4.8.

4.3 Inteligencia Artificial

El objetivo a largo plazo que se persigue en el área de Inteligencia Artificial (IA) es hacer sistemas tan inteligentes, o incluso más, que las personas. Este propósito también se podría llamar “visualización de la mente humana”, aunque deberán tenerse en cuenta las bases físicas. La IA ha madurado a una velocidad considerable después de la promoción desmesurada de los ochenta. Los noventa han sido testigo de éxitos espectaculares como la derrota del Campeón Mundial de Ajedrez, Kasparov, a manos del sistema Deep Blue, o la demostración automática de una conjetura matemática sin resolver desde hace sesenta años. Más importante es el hecho de que las tecnologías de IA están integradas en sistemas como Windows, sistemas de tecnología web (motores de búsqueda), etc. La IA se ha convertido en algo esencial para muchas aplicaciones (como la extracción de datos).

La IA funciona con una visión a largo plazo. El área tiene como objetivos entender la inteligencia humana y hacer que los sistemas creados por éstos sean inteligentes. Estas dos metas están íntimamente ligadas y no se pueden alcanzar de forma separada. Desgraciadamente, a finales de los setenta y debido a ciertas razones históricas, las comunidades de investigadores se separaron en dos ramas: las que llevan a cabo el estudio de la inteligencia humana con el nombre de Ciencias Cognitivas (CogSci) y las que hacen sistemas inteligentes (IA). Con el objeto de sobrellevar este desafortunado incidente, se ha propuesto unir estas dos ramas en una llamada *Intellectics* (Bibel 1992).

Aquí, en el contexto de las TI, nos centraremos en el área de la IA dentro de las *Intellectics* y nos referiremos a (Bibel et al. 2004) para una perspectiva general de las mismas. Desde el punto de vista de las TI, la IA se refiere a la implementación en los sistemas de TI de la inteligencia necesaria para que sean capaces de cooperar con los humanos al mismo nivel que los humanos cooperan entre sí. Debido a que la “inteligencia” no es ni un método, ni una tecnología, ni una herramienta sencilla, sino más bien un conjunto de comportamientos, capacidades y estrategias complejas, la IA posiblemente necesite basarse en todas las demás tecnologías. Es por esta razón por la que en nuestra presentación genérica-básica colocamos la IA en primer lugar.

Es común estructurar esta amplia área de la IA desde el punto de vista de un agente inteligente en un entorno complejo (cf. el completo libro de IA de Russell y Norvig 2003). De hecho este entorno se puede considerar como uno de estos agentes o un conjunto de ellos, de modo que la opinión del agente permita un tratamiento uniforme de muchos aspectos del mundo. Desde esta perspectiva, incluso la computación distribuida que se comenta en la Sección 4.9 puede considerarse como IA distribuida con una gran cantidad de agentes, aunque es raro que la IA tenga en

cuenta los “agentes” de bajo nivel que se consideran en la computación distribuida (como los aparatos electrónicos a un nano-nivel). Sin embargo la relación sugiere que la IA y la computación distribuida deberían, sin ninguna duda, cooperar entre ellas.

Lo esencial de la IA consiste en técnicas de resolución de problemas a varios niveles de sofisticación, por lo que el término resolución de problemas se usa en su sentido más amplio e incluye planificación, toma de decisiones, diseño, y así sucesivamente. El nivel base considera al mundo como un estado (etiquetado) y la resolución de problemas consiste en encontrar un camino para pasar del estado actual al deseado. Con este enfoque tan simple, su aplicabilidad es virtualmente ilimitada ya que muchos problemas prácticos se pueden modelar con este paradigma. Los últimos diez años de investigación han llevado, por ejemplo, a métodos generales extremadamente exitosos para resolver problemas de algorítmica difícil mediante búsqueda local estocástica guiada por la metaheurística (Glover 1989; Hoos and Stützle 2004). Parte de la metaheurística se ha copiado de mecanismos de la naturaleza, tales como la evolución (algoritmos o informática de evolución o algoritmos y programación genética) (Holland 1975; Rechenberg 1973; Fogel et al. 1966), a partir del comportamiento natural de seres biológicos como las hormigas (Bonabeau et al. 1999; Dorigo and Stützle 2004), o se deriva del modelo neuronal del cerebro humano (conexionismo) (Rumelhart et al. 1986). Estos métodos de búsqueda no sólo son extremadamente exitosos en arquitecturas estándar, sino que incluso pueden tener aplicaciones en futuros equipos informáticos que integren mecanismos biológicos.

En el siguiente nivel de sofisticación las etiquetas adheridas a estados se convierten en estructuras. Con este enriquecimiento estructural, la resolución de problemas puede ascender a la clasificación o aprendizaje de las características de ciertas aplicaciones. Si subimos un nivel más, los estados no sólo son puntos etiquetados sino caracterizados por el conocimiento que se obtiene de ellos. En este nivel el agente tiene una cultura general acerca del mundo incluyendo conocimientos que tienen que ver con las utilidades de algunos estados y el conjunto de sus objetivos, lo que maximiza la utilidad total esperada. Mientras que la resolución de problemas siga ascendiendo la búsqueda de un camino por los distintos estados hasta llegar al objetivo, las transiciones de un estado a otro se caracterizan por reglas basadas en el conocimiento, más que en pares de estados. Debido a que un aspecto sustancial del conocimiento es la presencia de relaciones deductivas entre las partes del conocimiento disponible, el razonamiento deductivo, abductivo e inductivo es una parte adicional inherente en un agente basado en el conocimiento. En términos de niveles anteriores, se podría decir que el enfoque ha pasado de ser de los estados a los contenidos y de las estructuras de las etiquetas a estructuras de conocimiento. Una de las muchas características futuras de este nivel, es una medida probabilista por encima del nivel del conocimiento para manejarse con nuestro conocimiento incompleto sobre el mundo. En resumen, el estado del arte en el que están los agentes basados en el conocimiento refleja una convergencia entre disciplinas anteriormente separadas, la búsqueda

nominal, el procesado del conocimiento, la planificación de transiciones (de la IA), la deducción, la abducción, la inducción (de la lógica/IA), las teorías probabilistas (de las matemáticas) y las teorías de decisión (de la economía).

Lógicamente esta corta caracterización de los agentes basados en el conocimiento, omite muchos aspectos interesantes en el sentido de aplicaciones, como la semántica web (caracterizada por características del conocimiento y ya comentada en la Sección 3 en el contexto de un proyecto particular), un objetivo de investigación estratégico en el FP6 (Compañó et al. 2004, p.54), comercio electrónico (subastas, valoraciones dinámicas, contratación, etc.), la tutorización, la administración, etc. Debería haber quedado claro que los sistemas del conocimiento ofrecen un gran potencial en cualquier área en la que el conocimiento tenga un papel clave que, sin duda, incluye todas las áreas. La promesa ya se reconoció décadas antes cuando miles de sistemas expertos se construyeron e integraron en sistemas estándares, como componentes especiales útiles para numerosas aplicaciones industriales. Con la avanzada y extensa base teórica el potencial es incluso mayor y puede tener un papel decisivo en la NBIC - o tecnologías convergentes.

Debido a la importancia del conocimiento, el MIT ha lanzado un gran proyecto llamado "Open mind common sense database" que trata de coordinar una colección de cientos de millones de unidades de conocimiento del sentido común humano (Singh 2002). Un proyecto parecido, CYC, ha conseguido, por el momento, un millón y medio de estas unidades de conocimiento. Se frasean basándose en más de cientos de miles de conceptos de ontología (es decir, un conjunto de conceptos y términos estructurados) muy generales. Paul Allen, el cofundador de Microsoft, está financiando un proyecto llamado "Halo" cuyo objetivo es crear el "Aristóteles digital" mediante una colección coordinada de miles de millones de unidades de sentido común humano al poner todo el conocimiento científico del mundo en un mismo sistema. La fase de medio año del Halo I ya ha dado resultados increíbles, con una extraordinaria contribución Europea.

Una vez que la tecnología para crear una base de datos del conocimiento tan grande se haya estandarizado, será útil para formalizar el metanivel de las ciencias naturales y la ingeniería (es decir, la habilidad de científicos e ingenieros), para endurecer las llamadas "ciencias blandas" como las humanidades o ciencias sociales, para mejorar el entendimiento entre países con distintas culturas, incluso para que los individuos superen la fugacidad de sus pensamientos al aumentar la capacidad humana de resolución de problemas mediante el acceso y asociación de los pensamientos que se han tenido en momentos muy distintos a lo largo de su vida, y que están almacenados en esas bases de datos. Esto ya es una tendencia en proceso como puede comprobarse con el gran número de ontologías ya operativas y en uso como Wordnet, Enterprise Ontology, Gene Ontology, Process Ontology, IEEE Standard Ontology, Cancer Ontology, y muchos más (Mizoguchi 2004). También puede verse en la importancia creciente de UML (véase la Sección 4.8) que tiene mucho en común con las ontologías, aunque las distintas comunidades sigan ignorándose.

La resolución de problemas, tal y como se ha tratado hasta ahora, sólo es una parte de la IA. Un agente inteligente debería ser capaz de percibir. Las percepciones pueden ser de mucho tipos: acústicas, visuales, olfativas, táctiles, etc. En cada una de estas áreas, hay un potencial enorme para mejorar las tecnologías actuales a un nano- y bio- nivel. Transformar cualquiera de estas percepciones en partes de conocimiento que describan los estados del mundo sigue siendo un desafío fundamental para la IA, a pesar del impresionante nivel de actuación de los estados del arte del entendimiento (y traducción) del lenguaje de la naturaleza, el reconocimiento del habla y la visualización de sistemas. No es sorprendente que las tecnologías de los sistemas del conocimiento tengan un papel muy importante aquí también. Estos sistemas interactivos hombre/máquina serán indispensables para el futuro de la Inteligencia Ambiental (AmI - véase la Sección 4.5) facilitando el uso de herramientas tecnológicas para el usuario casual (en contraste, sin duda, con la situación actual). Europa es particularmente poderosa en tecnologías del lenguaje de la naturaleza, que tiene un papel central en motores como Google. Para mantener el liderazgo cultural de Europa es muy deseable, un cruce lingüístico basado en bases de datos y sistemas del conocimiento para idiomas europeos (incluyendo, aunque no exclusivamente, el inglés). Debido a que copiar la tecnología de Google no sería suficiente para tener éxito en el mercado, el proyecto debería ser más ambicioso al incluir nuevas características de semántica web.

La tercera habilidad de los agentes inteligentes, aparte de la resolución de problemas y la percepción, es la manipulación. Este tema nos lleva al área de los robots. Aunque sea sorprendente ver a robots humanoides bípedos, como Asimo de Honda, Orio de Sony, Johnnie de TUM o el Troddler del MIT, moverse y subir escaleras, o el Spirit y el Opportunity moverse sobre Marte de forma sorprendente, la investigación en robótica tiene un largo camino por recorrer, hasta que, por ejemplo, un equipo de robots gane al entonces campeón mundial de fútbol (hito para el 2050). Aún así, se ha planteado el reto y se conseguirá en un futuro con muchos resultados prácticos derivados de ello, como robots para el hogar, soportes inteligentes para personas mayores, prótesis más flexibles, o tecnología agrícola revolucionaria, sólo por mencionar algunas de entre todas las perspectivas atractivas.

La investigación europea ha conseguido enormes progresos en robótica aprovechando el conocimiento biológico (compárese los respectivos proyectos de la UE listados en la Sección 3). La idea es sustituir las articulaciones rígidas en robots como Asimo, por articulaciones elásticas en analogía con las articulaciones animales, y añadir inteligencia a los mecanismos. Este principio de construcción biónica derivada del entendimiento de la bio-cibernética nos lleva a movimientos más elásticos (y por lo tanto más elegantes) y rápidos y a que los robots sean más baratos en dos niveles de magnitud. Pueden encontrarse más detalles en <http://www.biorob.de/>.

La robótica constituye un área mucho más amplia que lo que estos ejemplos pueden sugerir. El campo de la microrrobótica, combinado con la tendencia hacia la

miniaturización (véase la Sección 4.7), está creciendo de forma rápida, lo que se puede ver más como un subcampo de la micromecatrónica que de la IA. Pero la IA está obligada a formar parte debido a la convergencia de tecnologías y a la necesidad de hacer microrrobots autónomos. Los sistemas autónomos también tienen un papel en el mundo virtual en forma de los llamados softbots, que se parecen a los robots salvo en sus habilidades de manipulación.

Una subespecie de los robots de IA, los llamados agentes reflexivos y promovidos primeramente por Rodney Brooks del MIT, conectan perceptores de entrada directamente a las fuerzas manipuladoras aprovechándose así de las leyes físicas subyacentes. Por ejemplo, los insectos bajando una cuesta sin ningún consumo de energía, excepto por la ayuda de la fuerza gravitatoria. Materiales nuevos y bio-estructuras podrían ayudar a crear nuevas soluciones en esta prometedora área que, probablemente, se convertirá en un área paradigmática para la convergencia de las tecnologías. No cabe duda de que la tecnología resultante se integrará también en robots inteligentes.

En el lado contrario a los agentes reflexivos, existe una perspectiva para proveer de conciencia a las máquinas, que podría ser un prerrequisito para la verdadera inteligencia. Probablemente sea cierto que las máquinas conscientes necesiten una detección externa, debido a que creemos que la entrada sensorial, junto a la memoria y al procesado, son componentes esenciales de un sistema capacitado de conciencia, uno de los objetivos a largo plazo de la IA. Nuestro cerebro maneja información sensorial del exterior, la pre-procesa, la recuerda (o por lo menos pequeños ecos de las señales procesadas), la analiza y toma decisiones basándose en este análisis. Incluso podemos repetir memorias de las sensaciones, aunque normalmente sean borrosas. El pre-procesado ocurre en nuestro subconsciente, o incluso en nuestras células sensoriales. No somos conscientes del movimiento de los pelillos en nuestro oído interno que, de hecho, son los que “oyen” un sonido, pero sí lo somos de la sensación ya procesada de esta actividad colectiva; de la misma manera, no nos damos cuenta de la detección molecular individual en nuestra lengua o nuestra nariz, sino sólo del sabor u olor resultante. En los ordenadores podríamos ser capaces de crear todos estos modos de sentir externos e incluso algunos más complejos no perceptibles por los humanos (Bibel et al. 2004, Sect. 3.9). Mientras que nuestra experiencia se basa en sensaciones en tiempo real, nuestros pensamientos y sentimientos íntimos se basan en sensaciones internas. Podemos sentir y notar los acontecimientos de los pensamientos. Los pensamientos pueden tener, muchas veces, sensaciones reales, algunas veces enérgicas, a veces perezosas, o placenteras o no. Claro que habría que crear estados emocionales así como sentimientos que cambiaran. Todo esto son temas que aparecen en el contexto de la conciencia, un área, sin duda, extensa para la investigación básica.

Ha habido mucho debate referente al enfoque que se debería tomar para la IA. A día de hoy, la actitud que predomina parece ser la del oportunismo: cualquier método que proporcione avances es bienvenido, sean formalismos basados en la lógica, redes

naturales, teoría del juego o la decisión, métodos evolutivos, *swarm intelligence*, o lo que sea. La sensación que se tiene actualmente es que solamente con una mezcla compleja se puede conseguir alta inteligencia dentro de un marco más amplio.

Los agentes artificialmente inteligentes también necesitarán poner en relieve la resolución de problemas y la inteligencia social, de ahí que también exhiban el comportamiento emocional mediante el que son capaces de reaccionar adecuadamente a los humanos, de una forma a la que éstos están acostumbrados. Existen nuevos esfuerzos en la dirección del modelado de emociones a un nivel más profundo (más allá de los Avatares explicados en la sección siguiente) a pesar de la gran importancia de la interacción humana. De forma más general, comportamientos organizativos y papeles, incluyendo la ética, se modelarán de forma racional, un reto que requiere la colaboración de las disciplinas sociales. Ya se han publicado los primeros resultados en órganos de IA (como el AIJ)

Generalmente, la importancia de la IA en las TI se centra en el hecho de que la aceptación de tecnologías complejas por ciudadanos normales sin un entrenamiento en las TI está correlacionada directamente con la inteligencia de los sistemas; las personas prefieren colaborar con sistemas que estén “al mismo nivel que ellos” y enfadarse con máquinas estúpidas. Pero la IA es un problema extremadamente complejo que necesita bases adicionales e investigación de aplicaciones para progresos futuros. Esta investigación deberá seguir siendo interdisciplinaria y deberá trabajar en cooperación con disciplinas como las Ciencias Cognitivas (por lo tanto dentro de las *Intellectics*), la NeuroCiencia, la Psicología, la Fisiología, la Filosofía, etc.

4.4 Realidad Virtual y Aumentada

Hasta cierto punto un ordenador universal puede modelar cualquier fenómeno del mundo real, ya sea estático o dinámico. El usuario puede ver la información representada de varias formas, por ejemplo, textualmente, de forma visual o acústica. Debido a que el canal visual es de particular importancia para los humanos, el procesado de datos gráficos (GDP) se ha convertido en un subdisciplina muy importante. Desarrolla técnicas para presentar la información de un modo visual para el usuario. La visualización de datos enormes con elementos de volumen de un tamaño de miles de millones como los que aparecen en la tomografía de un ordenador o en simulaciones del proceso de combustión de un motor se consigue con procedimientos de renderizado de volúmenes. El objetivo es permitir que la información aparezca en algún medio (por ejemplo en la pantalla de un ordenador) como si fuera real.

El estado del arte en esta área se puede ver en muchas películas como en “El Día de Mañana” de Emmerich, que muestran escenas de Nueva York tomadas en una edad de hielo. Los personajes animados por ordenador se comportan de una forma perfectamente real ya que la animación respeta completamente las leyes físicas que fundamentan el movimiento de las partes del cuerpo, los reflejos de luces, la apariencia de la materia estructural, las expresiones faciales de sentimientos y los estados de ánimo, etc. Cuantas más características humanas se integraran, más deberían cooperar los dibujantes con los investigadores de IA, de hecho, fue un grupo de IA quien desarrolló, por vez primera, este arte de la industria cinematográfica a finales de los ochenta. La tecnología involucrada se ha convertido en una industria considerable para películas, TV y juegos con índices de crecimiento al alza. Se avecinan un gran número de retos para nosotros. Uno de ellos es la TV-3D Interactiva, otro es el 'Vídeo de punto de vista libre' (Free-Viewpoint Vídeo). La perspectiva es de la integración del entorno real con las imágenes virtuales como ya se ha hecho en algunos prototipos (por ejemplo el Media-Lab, del MIT). Podría tener aplicaciones lejanas al entretenimiento, como por ejemplo el aprendizaje y las prácticas para aprender a tocar un instrumento musical, o el diseño y la venta de ropa (elegir/diseñar un vestido).

Esta tecnología también es útil para aplicaciones “serias” donde podría ayudar a la visualización. Por ejemplo, los avatares, es decir, personajes software que imitan a personas reales o imaginarias. Se utilizan como guías turísticas, guías de tráfico, tutores, etc. Se han visualizado datos sísmicos en 3D como si se pudiera ver a través de la tierra, para apoyar, por ejemplo a la industria petrolífera. De esta forma los sentidos humanos se pueden realzar y la realidad ampliarse. Un ejemplo de realidad aumentada es un sistema de auriculares que permita a un conductor ver ampliado el lugar donde hay tráfico y obtener indicaciones de hacia dónde debe ir. Siemens está desarrollando auriculares para arreglos guiados que podrían aparecer pronto en el mercado (Computer Zeitung 6, 7.2.05). Claro está que ya existen posibilidades estándar para visualizar los

edificios o paisajes diseñados, los órganos del cuerpo (por ejemplo para ayudar durante una operación), tesoros culturales, etc. La variedad de aplicaciones parece ilimitada.

Puede que la visualización sea una parte importante de la realidad virtual, pero existen muchas otras. Hablaremos ahora de simulación y modelado. La combustión de motores se ha modelado para saber qué es lo que ocurre en la célula de combustión. Los coches se han modelado para conocer sus características dinámicas. El modelado y la simulación han sustituido el desarrollo costoso de prototipos físicos. El modelado de sistemas en las TI se usa para predecir riesgos de ejecución, planificación del trabajo, eficiencia de código, etc. La simulación es indispensable en pronósticos del tiempo, investigaciones meteorológicas, economía, comportamiento social, y así sucesivamente. Un ejemplo que exige mucho esfuerzo es la simulación de una célula viva, que se investiga en un proyecto del FP6. Se ha creado toda una subárea llamada Vida Artificial en la que se estudian todos los mecanismos de las entidades vivas.

A pesar de que el modelado resulta un área verdaderamente activa y prometedora, todavía existe un reto no tratado. El modelado y la simulación se siguen realizando como una moda en la que hay que hacer muchos cálculos, sin un vínculo directo con el conocimiento. De hecho, existen dos prometedoras líneas en las que el conocimiento puede ocupar un importante papel para el modelado. Para una de ellas si hay un modelo de algún escenario (por ejemplo, un edificio) entonces el modelo tiene implícitamente, junto con el sentido común, mucho conocimiento útil que se puede comunicar al usuario. Un ejemplo sencillo sería el de dos habitaciones adyacentes; el sentido común nos dice que las dos habitaciones comparten una pared (con la posibilidad de instalaciones eléctricas u otras instalaciones comunes). Pero ningún sistema gráfico puede, por el momento, decirnos esto de forma explícita dentro del contexto de planificación y resolución de problemas, mientras que un modelo basado en el conocimiento sí podría dar esta información al usuario.

La otra dirección tiene que ver con la integración directa del conocimiento formalizado en el proceso de modelado. Este reto está relacionado con la síntesis de programas comentada en la Sección 4.8. Imagine un sistema de simulaciones meteorológicas. Si dispusiera de la gran visibilidad que poseen los meteorólogos sobre sistemas de altas y bajas presiones, la dirección de sus movimientos y miles de otros detalles de esta índole, se podrían conseguir resultados mucho mejores para las simulaciones, usando menos potencia informática. En otros ejemplos se podría incluso pensar en un modelado exclusivamente visual, basado en el conocimiento. Así que casar las técnicas actuales de simulación con los sistemas del conocimiento resulta una prometedora área para un enfoque futuro de investigación.

4.5 Interacción Hombre-Máquina (Human-Computer Interaction, HCI)

En un estudio Delphi realizado por FISTERA (Popper 2004), la opción de “establecer sistemas más fáciles para el usuario” se eligió como el tema más importante para la concentración de los esfuerzos de I+D, seguido del “aumento de la seguridad en transacciones e información personal”. Sin duda existe una necesidad urgente de adaptar los sistemas de las TI para que cualquier ciudadano pueda utilizarlos. Como dijimos al final de la Sección 4.3, esto requiere que los sistemas estén caracterizados con cierto nivel de Inteligencia Artificial.

Mientras que la rapidez en la computación y la capacidad de almacenamiento han crecido a un ritmo increíble en las últimas décadas, las interfaces entre humanos y máquinas son, más bien, arcaicas. La entrada de datos se hace, típicamente, mediante el teclado; las salidas, mediante texto escrito o imágenes en pantallas o en papel. Actualmente los cuatro tipos de pantallas más importantes son el Tubo de Rayos Catódicos (*Cathode Ray Tube*, CTR), la Pantalla de Cristal Líquido (*Liquid Crystal Display*, LCD), las Pantallas de Plasma (*Plasma Display Panel*, PDP) y la Pantalla de Emisión de Luz Polímera (*Polymer Light Emitting Display*, PLED). Los avances pueden llegar a través de nuevas interfaces (por ejemplo, multi-sensoriales, multi-modales, multilingües, realidad virtual y aumentada, telepresencia, entrada/salida mediante ondas de interfaces cerebro/máquina o cerebro/cerebro directas) y tecnologías de displays (por ejemplo, dispositivos vestibles, head-mounted displays, micro-displays y displays 3D). Dentro de unos años, cabe esperar interfaces que funcionen con el tacto, visualización de la información en 3D, touchpads en una amplia variedad de objetos y captación de gestos.

Estas perspectivas tecnológicas han llevado a la idea de Inteligencia Ambiental (AmI, en sus siglas inglesas) que caracteriza el enfoque principal del FP6. Esta idea se remonta a 1988 cuando Mark Weiser, el arquitecto jefe del Centro de Investigación Xerox Palo Altos, acuñó el término de “computación ubicua” para su idea de una infraestructura ubicua de las TIC que incluyera objetos cotidianos (véase la Sección 4.7). En Europa, esta idea se combina con una perspectiva de mejora de las estructuras sociales de nuestra sociedad (Ducatel et al. 2001; Friedewald y Da Costa 2003; ISTAG 2003). El énfasis se pone en la facilidad para el usuario, la eficiencia y el soporte de servicios distribuidos, la potenciación del usuario, y en el soporte a las interacciones humanas. Ordenadores y dispositivos basados en las TIC pasarán a un segundo plano. Las personas estarán rodeadas de interfaces multimodales, inteligentes e intuitivas en todo tipo de objetos. Será posible una interacción con todos los sentidos humanos y de forma intuitiva. El medio reconocerá a los individuos, sus necesidades e incluso sus cambios, tanto en sus necesidades como en

el medio. Responderá de forma clara, discreta y con frecuencia, invisible, sin dejar de estar bajo el control del ser humano. Los agentes inteligentes tomarán decisiones que, eventualmente, servirán a las personas o avisarán a una persona de la necesidad de tomar una decisión o llevar a cabo una acción.

Claro que hay otra forma de ver esta idea. Si un entorno se anticipa a las necesidades de una persona, a la vez está restringiendo de alguna manera la libertad de esa persona. Esto demuestra que existe una delgada línea entre tener entornos al servicio de las personas y tener personas al servicio de los entornos. La AmI tiene un potencial considerable para desarrollar entornos que, de hecho, reduzcan la libertad, en lugar de dar poderes a los 'habitantes'. Sin embargo, el objetivo de la AmI es conseguir esto y evitar aquello modelando de forma correcta a los usuarios. Dentro de poco, los ordenadores se ajustarán y serán útiles para las necesidades humanas, en vez de necesitar que las personas se ajusten a ellos aprendiendo ciertas habilidades y realizando difíciles tareas. Las interacciones entre humanos y ordenadores serán relajadas y agradables, sin excesivas curvas de aprendizaje.

Esta idea de la AmI desarrollada dentro de los informes del ISTAG está llegando bastante lejos y asume un cambio en los paradigmas de la informática: de centrado en la máquina a centrado en el usuario. Esta visión propone posicionar al ser humano en el centro de desarrollos futuros. Las tecnologías se diseñarán para las personas en lugar de hacer que las personas se adapten a las tecnologías.

Podría decirse que la idea de la AmI rodea la convergencia entre las TIC y la cognición. Hacer que los dispositivos tecnológicos sean más fáciles de usar requiere de un profundo entendimiento de cómo interactúan los seres humanos con ellos. Esto a su vez requiere una profunda comprensión de la cognición humana. Este objetivo reside en la raíz de la disciplina de las Intellectics con sus dos ramas, la de orientación más tecnológica (*Inteligencia Artificial*) y la orientada al hombre (*Ciencia Cognitiva*), como ya se ha dicho en la Sección 4.3. En otras palabras, la IA y las Ciencias Cognitivas podrían considerarse prerequisites fundamentales para la AmI. Por ello la investigación básica en estas áreas, en temas como sistemas del conocimiento, deducción, razonamiento con incertidumbre, argumentación y otros muchos, son de vital importancia. Por ejemplo, la HCI seguirá siendo muy elemental mientras que no se doten a los ordenadores de capacidades de razonamiento y de comunicación con lenguajes naturales.

Además, las técnicas de recuperación de datos necesitan mejorar para así poder dar abasto con la masa de datos generada. De hecho la recuperación de datos ya no es suficiente, ya que hay muchos más datos que información útil en ellos. En un futuro, debido a que actualmente ya hay mucha información útil a nuestro alrededor, su reducción a piezas de conocimiento apropiadas será un prerequisite para que sean útiles para las personas. Así que aquí también estamos volviendo a los paradigmas de semántica de red ya comentados en la Sección 4.3.

Además, una realización parcial de la idea de AmI agravaría los problemas de seguridad y privacidad que ya hay hoy en día en la industria. Por ello, junto con estas perspectivas se necesita un marco de fiabilidad y seguridad global para garantizar la privacidad y protección de datos así como la no-intrusión (virus, spam, publicidad, etc.). A medida que los métodos de producción de software mejoren (véase la Sección 4.8) será más fácil reaccionar de forma puntual y fiable a los problemas de seguridad. Así que esta parte es realmente un problema técnico complejo pero no irresoluble. El tema de la privacidad requiere encontrar un compromiso: dependerá de lo que podamos ganar perdiendo algo de privacidad. Una vez que los detalles de este compromiso son públicos y se den varias opciones, cada uno puede tomar su propia decisión. Finalmente, resulta obvio que el desarrollo de todas las herramientas HCI necesarias involucran, en gran medida, una investigación socioeconómica para precisar las necesidades, los conceptos y la viabilidad así como los problemas/riesgos (en términos sociales, económicos, legales y técnicos).

4.6 Campos de Aplicación de las TI

Las Tecnologías de la Información constituyen una disciplina horizontal por excelencia. Sus aplicaciones cubren, virtualmente, cualquier sector o disciplina. Como evidencia, se puede ver un estudio con una amplia gama de proyectos exitosos financiados por la UE (Comisión Europea 2004). Estos proyectos incluyen la agricultura, energía, medioambiente, medicina y salud, ciencias de la vida, investigación industrial, transporte, ciencia y sociedad. Muchos de ellos dependen, de forma crucial, de las TI ya traten sobre diagnósticos de la salud de las plantas (implicando el uso de un microchip), de la combustión efectiva (usando un modelo de simulación), de la calidad de las aguas del Danubio (usando el modelado), de la recuperación de pacientes de apoplejía (implicando robótica) o del diseño de un ordenador para conductores de tren (con componentes sustanciales de las TI), sólo por comentar algunos ejemplos.

Las herramientas de las TI han llegado a ser tan comunes en los campos de la ciencia y la tecnología que no es normal darse cuenta de lo importante que son para el desarrollo de estos ámbitos. Esta parte tendrá un incremento incluso mayor en el futuro. El ya fallecido Woody Bledsoe, uno de los padres fundadores de la IA, predijo que, al final, sólo quedará una ciencia, una convergencia que se liderará por el paradigma computacional que existe detrás de las TI (Bibel et al. 2004, Sección 4.1).

Debido a esta omnipresencia de las TI, es imposible presentar un informe que cubra todas sus aplicaciones. Todas las disciplinas o sectores están influenciados de forma considerable por las TI, la ciencia, la ingeniería, el desarrollo, la fabricación, la organización del trabajo, los negocios, la gestión, el gobierno, la venta al por menor y el comercio, los servicios, el transporte, la logística, las finanzas, la ley, la salud, el hogar, la educación y el aprendizaje, el entretenimiento (“info-entretenimiento”), la tercera edad, el desarrollo y la planificación regional, el medioambiente, y así sucesivamente. Nótese que esta influencia no está restringida al uso de herramientas informáticas sino que también involucra una redefinición de cada área. Otros desarrollos importantes que han seguido esta tendencia son la revolución de las tecnologías de la comunicación en los ochenta y la transformación de las ciencias biológicas (bioinformática) en los noventa. Esta subsección pretende mencionar algunas de estas áreas y demostrar el potencial futuro de este tipo de redefiniciones.

En la *ciencia y tecnología* esta tendencia se ha identificado en términos de lo que llamamos ciencias y tecnologías convergentes (Nordmann 2004). Se espera que esta convergencia afecte, por un lado a las ciencias cognitivas y a las tecnologías y, por otro lado, como ya lo ha hecho -y seguirá haciéndolo- a las ciencias de la vida y las ciencias biológicas (“Bioinformática”, “Neuroinformática”, etc.) incluyendo las *Cytomics* (es decir, el área que cubre los aspectos de orientación biológica dentro de las ciencias de la vida). El término e-ciencia, referido a un uso universal de sistemas distribuidos

(véase Sección 4.9), también apunta hacia la misma dirección (véase, por ejemplo, <http://www.eu-egee.org/>). Incluso las matemáticas están pasando por una fase de transición revolucionaria desde que se solucionaron por primera vez famosos problemas matemáticos con un ordenador, como por ejemplo el problema de los cuatro-colores (propuesto por los hermanos Guthrie en 1852 y resuelto por Kenneth Appel y Wolfgang Haken en 1976 y por Georges Gonthier en 2005), la conjetura de Kepler (resuelta por Thomas Hales en 1998), el problema de Robbins (resuelto por William McCune en 1996), y así sucesivamente.

La *ingeniería* también seguirá su tendencia hacia una “ingeniería computacional”. Por ello, los sistemas de conocimiento que captan conocimiento ingenieril y las técnicas de resolución de problemas serán cada vez más importantes. De este modo, la ingeniería no sólo estará constituida por el ámbito técnico sino también por el sector de servicios que en este sentido está subdesarrollado en Europa.

El *diseño y desarrollo* de productos no puede imaginarse sin el uso de herramientas informáticas. Recuérdese de la Sección 2 que el 90% de la innovación automovilística se debe a las TIC. Sistemas CAD (Diseño Asistido por Ordenador) apoyan a los diseñadores y desarrolladores individuales. Pero éstos tienen que colaborar. Por ejemplo, en la industria automovilística es normal que cien desarrolladores distintos creen diez mil archivos que necesitan combinarse de manera coherente. Hoy en día, este reto sólo es posible con el uso de herramientas de configuración y gestión adicionales.

La ciencia de los *materiales* está en una transición revolucionaria. Mientras que los materiales para la producción se han elegido basándose en las propiedades expuestas en estructuras pasivas, la tendencia actual tira hacia estructuras activas que cambian estas propiedades reaccionando a datos sensoriales. Estas estructuras se han desarrollado en el área de la *mecatrónica*. El ingrediente principal es una especie de herramienta informática. Materiales como estos, se estandarizarán en muchos sectores, por ejemplo en la industria del coche.

La *fabricación* y producción dependen cada vez más de herramientas controladas por ordenadores y a medida que se vuelvan más sofisticadas veremos más personalización y una mayor participación del consumidor. Debido a que Internet permite una interacción desde cualquier lugar, la localización del consumidor no es un problema. Los diseñadores podrían estar en lugares muy alejados de las fábricas de producción de sus prototipos. Estas perspectivas se engloban en lo que se llama el paradigma del *MANUFUTURE* y mantienen la promesa de conseguir producción sostenible en un futuro próximo (IPTS 2003). Este futuro de la producción se determinará por sistemas de agentes inteligentes que se organizarán entre ellos adaptándose según la variación de las condiciones y tomarán decisiones de forma descentralizada. De esta forma se conseguirá estabilidad, escalabilidad y flexibilidad para los sistemas de producción en conjunto.

Un amplio campo de aplicaciones es el modelado de procesos de *negocio* que ocurren en una empresa. Proporciona la infraestructura para almacenar los datos necesarios para las diversas funciones, soportando todo tipo de actividades y controlando todos los procesos de las compañías. El reto es construir una plataforma capaz de conseguirlo de forma coherente y uniforme integrando las aplicaciones necesarias. Una tarea especialmente importante y todavía sin definir es, por tanto, la integración de sistemas de conocimiento (véase Sección 4.3) en vez de usar los complejos sistemas de gestión del conocimiento que, por sí mismos, no son prácticos. La arquitectura de una plataforma de este tipo involucra, de arriba a abajo, el almacenamiento de datos, el *middleware*, los subsistemas cliente/servidor, la conectividad, el sistema operativo y el hardware. Una tendencia reciente favorece la introducción de arquitecturas de sistema orientadas a servicios para la gestión de procesos de negocio que se caracterizan por una estructura de arriba a abajo más rica: la empresa en tiempo real, en el nivel más alto, la gestión de rendimientos cooperativos, los procesos de negocio, la arquitectura basada en software y orientada al servicio, las aplicaciones (como el plan de recursos de una empresa, la gestión de cadenas de producción, las relaciones con los clientes y los proveedores, el ciclo de vida del producto), una infraestructura para todas estas aplicaciones, la integración de todas las aplicaciones de la empresa, y las Interfaces de Programación de Aplicaciones o APIs (como XML, servicios web o webservices, J2EE) en el nivel más bajo. Para apoyar la colaboración de las empresas, la interoperabilidad es otro de los requisitos importantes, y más a medida que la estructura del mercado cambia hacia un comercio a través de la red en el marco de una economía globalizada basada en las TI.

E-*gobierno* es el término que describe la función de las TI en las agencias reguladoras. Hasta cierto punto, los requisitos son similares a los del modelado de los procesos de negocio. La Comisión está presionando en esta área (EC 2003). Este término se entiende en un sentido más amplio, que comprende todas las TIC con el fin de apoyar el sector público, incluyendo sus dominios ejecutivo, legislativo y judicial. Un ejemplo de esto es el sector *legislativo* que está empezando a integrar a las TI en sus procesos en algunas partes de Europa (<http://www.e-justice.de>) mientras que en otras, por ejemplo en España, hay jueces que ni siquiera tienen acceso a un ordenador. Pero al igual que en ingeniería, se está experimentando con sistemas de conocimiento especializados en leyes, que ayudan tanto a los expertos en temas judiciales como a los ciudadanos a analizar los derechos en situaciones específicas en las que se necesitan conocimientos legales y razonamientos basados sobre ellos (Bibel 2005). El potencial detrás de esta tecnología, que está fuera de los límites de lo que entendemos por e-gobierno, podría llevar a una verdadera revolución en el campo legal e incluso podría dar como resultado leyes mejores y más coherentes y, en general, más justas. También podría convertirse en el primer paso para armonizar las leyes europeas con 25 más 1 sistemas legislativos distintos. Por tanto las TI cambiarán la infraestructura (es decir, e-gobierno) y la reformarán. Estos dos temas distintos tienen algo verdaderamente aplicable al resto de los sectores de

ámbito público. Otro ejemplo es la *financiación estratégica* para la investigación y el desarrollo, que debería ser pionera en esta tendencia involucrando, por ejemplo, bases de conocimiento en previsiones, así como capturando la experiencia que hay en Europa (cf. Bibel et al. 2004, GenRec3, Sect.5.1). Este tipo de cambios en el escenario público pueden afectar, profundamente, a nuestra sociedad futura con muchas perspectivas positivas, sin incluir del todo a la política (Bibel 2003).

El sector *militar* depende cada vez más, de las TIC. EEUU ha demostrado el poder que puede alcanzarse gracias al uso de las TIC en cualquiera de sus actuaciones internacionales, como bien se ha demostrado en la guerra de Iraq. Mientras que el sector de servicios en Europa ha ido creciendo en las últimas décadas, en términos de innovación se queda atrás, con pocas excepciones notables. Por ejemplo, Europa es líder en *venta al por menor* (Carrefour y Metro) a escala mundial. Las TI seguirán cambiando la forma en la que se realizan las compras de forma drástica. Un primer paso es la tienda del futuro de Metro. “Asistentes inteligentes de compra” darán al consumidor todo tipo de información útil de forma personalizada, como el precio comparativo, evaluaciones de calidad, consejos de salud, y así sucesivamente (Wahlster 2004, Grand Challenge #11). Ir de compras por la web (compárese el éxito comercial de Ebay), subastas automatizadas, mejores métodos de investigación del consumidor, por ejemplo, mediante técnicas de modelado basadas en agentes (Terano 2005), y futuros métodos informáticos influenciarán al mercado de forma considerable. Técnicas parecidas llevarán a sistemas *financieros* más transparentes y optimizados. También tendrá un gran futuro un sistema de *transporte* público flexible (véase Sección 4.12). La *logística* general todavía puede optimizarse en gran medida mediante el uso de las TI (véase la Sección 4.7). En el sector de las *ciencias de la vida* o la *salud* las TIC se han introducido tanto que e-salud ya es un término estandarizado. Relacionado con la e-salud están las oportunidades que la tecnología, especialmente las TIC, están ofreciendo para que la tercera edad siga activa, de colosal importancia para las sociedades europeas en proceso de envejecimiento, como en los dispositivos, salud y otros sectores.

Finalmente, las TI están proporcionando *agentes* cada vez más inteligentes, personalizados y asistenciales para individuos y hogares. Uno de los grandes temas de innovación son las “casas inteligentes” (“*smart home*”) que, por ejemplo, se caracterizarán por tener una red inteligente que interconecta todos los aparatos, electrodomésticos y sistemas. La Tele-Enseñanza (*E-learning*) se está convirtiendo en un gran sector económico. Debido al crecimiento del número de personas mayores el apoyo a la tecnología se está convirtiendo en un importante factor económico y social. La robótica, los sistemas de apoyo basados en el conocimiento, los sistemas de monitorización de la salud y la seguridad, la protética mejorada por las TI, los sistemas de comunicación, y otras tecnologías permitirán que las personas mayores lleven una vida plena, incluso a edades muy avanzadas. También el ocio, el entretenimiento e, incluso, los medios de comunicación constituyen un creciente subsector dentro de las TI.

Las TI no tienen valor si no se aplican a varios sectores de la sociedad. Por esta razón no debe escribirse ningún informe sobre las TI sin destacar la importancia de sus aplicaciones. Con esta subsección hemos querido resaltar el ilimitado potencial de las TI para realzar la posición de la economía europea. Cualquier región que va bien es porque mejora sus infraestructuras en el más amplio sentido, es decir, las infraestructuras en todos los ámbitos, tanto los comentados en esta subsección como otros muchos. Las tecnologías clave para optimizar las infraestructuras son las TI. Por tanto hay que continuar siendo el número 1 en tecnología, también en los años venideros.

4.7 Uniendo lo Real y lo Virtual

Los temas tratados hasta ahora en esta sección, están enfocados hacia la construcción del mundo virtual por parte de las TI, rodeándolo del mundo real. Las personas normalmente se quedan como el único enlace entre ambos mundos. Existe una tendencia rotunda hacia la convergencia del mundo físico con el ciberespacio, es decir, vincular lo real y lo virtual de forma más directa mediante nuevos sensores y la domotización de la tecnología.

Las etiquetas de Identificación por Radiofrecuencia (Radio frequency identification, RFID) tienen el papel más importante en la nueva tendencia de personalización basada en etiquetas. Un sistema de etiquetas RFID posee tres componentes: una serie de transpondedores móviles unidos a la mercancía que hay que identificar, uno o más lectores estáticos para identificar los transpondedores y el sistema secundario de TI que procesa la operación de los datos del transpondedor. Los transpondedores varían de 1 bit a 256 Kbytes. Pueden ser activos (acompañados de un suministro eléctrico) o pasivos (inductivos). Sustratos flexibles como polímeros orgánicos permiten envoltorios más compactos y por tanto más pequeños que los actuales circuitos de silicio. En principio, los circuitos de polímero son más lentos y más grandes que los circuitos de silicio. Pero pueden fabricarse mediante procesos de litografía sencillos y baratos. Aún hay numerosas preguntas sin respuesta sobre el tiempo de vida o velocidad de conmutación de los transistores de polímero.

Se confía en que la tecnología RFID destaque en aplicaciones logísticas, aunque se sigue esperando su paso definitivo. Ya se usan para seguir los palés desde que salen de la fábrica hasta que llegan al cliente. Pero su uso tiene mucho más potencial. Por ejemplo, en comercios la tecnología permite detectar rápidamente cuándo se agota un producto, poner el precio a los artículos automáticamente en displays digitales y cobrar más rápido mediante un escaneo rápido de todo lo que hay en la cesta de compra. En fabricación, las etiquetas RFID permitirán el control individualizado y descentralizado de la afluencia de productos, la gestión automática de tiendas complejas con palés combinados y sin un lugar fijo de almacenamiento, y la identificación de partes extras, por ejemplo, en la industria aeronáutica. De forma más general, las “etiquetas inteligentes” deberán cerrar el espacio entre la afluencia física y la afluencia de información en los sistemas de TI. En un estudio previo, se estimó que el mercado masivo de etiquetas RFID empezaría a tener éxito, a nivel de objetos individuales, hacia el 2015.

Para entonces sólo costarán unos pocos de céntimos y podrán almacenar la identidad de cualquier objeto. Esto permite que el objeto esté vinculado a cualquier funcionalidad electrónica en la red. Los clientes podrán ver un objeto y en lugar de preguntar información a un dependiente con escasa preparación, encontrando toda la

información necesaria en la red. Se podría consultar su perfil personal - cada cliente podría identificarse mediante una etiqueta en su tarjeta de fidelización - para asegurarse de que la información está conectada a sus necesidades. Avances como estos tendrán un impacto en la precisión del marketing cuando llegue a adaptarse a cada cliente. Pero al añadir funcionalidades cibernéticas a cualquier producto, también se abren nuevos mercados. De repente, es como si los productos existieran dos veces, una en el mundo real y otra en el ordenador.

Imagínese comiendo un Bassetts' Jelly Baby (gominolas con forma de bebé). Ahora, imagínese comiendo un *Jelly Baby* del futuro, si Bassetts decide realzarlas con etiquetas electrónicas comestibles de silicona. Debido a su sofisticada conexión al ciberespacio, esta gominota-bebé podría gritar (a través de los altavoces de su PC o de auriculares Bluetooth), y defenderse. Podría conectarse con sus amigos bebés a través de una red P2P (entre iguales), y organizar un ataque a su PC doméstico, o lanzar un virus y estropear su disco duro. Comer gominolas-bebé sería un deporte de riesgo más que un placer, con el riesgo y la emoción de un gran juego de persecución. Ahora imagine cómo los vendería Bassetts. Los vendedores podrán realzar muchos productos cotidianos añadiéndoles enlaces cibernéticos llenos de imaginación.

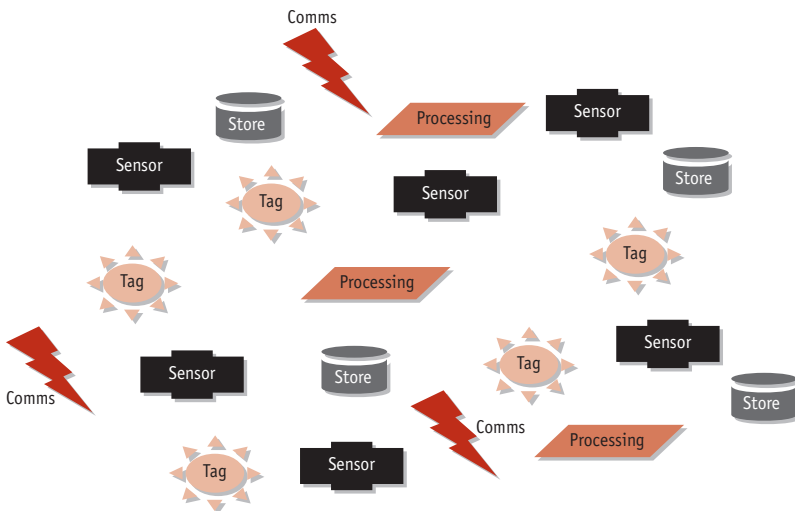
Los comerciantes podrán llegar más lejos aún. Una vez conectado el producto al ciberespacio han conseguido aumentar su valor. Ahora pueden ampliar su parte cibernética, sacarle partido, distribuirlo por áreas adyacentes y aumentar la amplitud del producto. La parte cibernética tendría más valor que el producto inicial en sí, convirtiéndose en un producto o servicio derivado. Esto podría ser una estrategia de lanzamiento para un producto cibernético, como por ejemplo una página web. Crear un producto real atractivo que se conecte con el producto virtual, convirtiéndolo así en un simple cebo. Entonces se habrá vuelto al punto de partido ya que sería como usar un bolígrafo con la URL de una página web al lado. Esto fuerza la siguiente pregunta: ¿es mejor hacer un bolígrafo y vender el potencial de marketing, o empezar con el otro producto y luego encontrar un bolígrafo adecuado? Cualquiera de las dos estrategias podría resultar exitosa.

De cualquier forma, es posible conseguir mejores productos mediante la combinación creativa de lo físico y el ciberespacio, y no mediante el uso de uno de ellos como vínculo hacia el otro. La muñeca de un niño tiene más valor de juego si se conecta al ordenador y a la red. Permite que el niño tenga acceso a más inteligencia de la que, económicamente, se le puede incluir a la muñeca, y permite conectarse en red con dueños de otras muñecas. Los comerciantes podrán vender on-line casas de muñecas virtuales, y permitir al niño que las personalice, de forma similar a "Los Sims". Cabría esperar que durante las siguientes Navidades se vendieran accesorios reales de muñecas para "Los Sims", para así volver a completar el círculo. Las muñecas tendrán vida social con otras muñecas que vivan en la misma calle, mientras los niños presencian estos culebrones en vivo y, en parte, dirigiéndolos.

Todo esto parece estar dirigido a que jueguen los niños, pero no cabe duda de que se observa un aumento del tiempo que dedican los adultos a jugar. Millones de ellos lo hacen on-line pasando ratos con, por ejemplo, el Everquest y algunos de ellos incluso rondan los cuarenta. Algunos de estos juegos se están volcando sobre la vida real, con accesorios y convenciones, llegando a comercializarse estados o destrezas de los juegos en e-Bay. Hay personas que usan estos juegos para quedar con sus amigos. Se pueden desarrollar lugares virtuales muy atractivos para reuniones, entrenamientos, comunicaciones, compras, y así sucesivamente. Los entornos virtuales están en los dominios de convergencia del espacio mental y el ciberespacio. La convergencia mental y física nos ha acompañado durante milenios, desde los juguetes hasta armarios para archivar. Como resultado de la interacción de estos tres ámbitos tendremos más productos y servicios, lugares para comprar más grandes, y lo más importante, un lugar donde la frontera entre un producto y la venta inteligente desaparezca.

La base de todo esto será un entorno con aparatos como los ya comentados en la Sección 4.5. Ya predijo Mark Weiser: “en el siglo XXI, la revolución de las tecnologías se mudará a lo cotidiano, lo pequeño y lo invisible... Las tecnologías más intensas serán las que desaparezcan. Se adentrarán en la fábrica de la vida cotidiana hasta que no puedan distinguirse de ésta.” Un entorno como el descrito aparece en la siguiente imagen (siendo los dibujos explicativos por sí solos y “Comms” refiriéndose a comunicadores”).

FIGURA 3 *Aparatos ubicuos.*



Environment rich in processors, tags, data stores, sensors and communicators.

Como ocurre con las etiquetas RFID, todo tipo de chips y demás componentes de las TI son cada vez más pequeños, mejor integrados y mejor adheridos a dispositivos tecnológicos así como a la realidad. Las áreas de la microelectrónica y la fotónica son

las que lideran este campo. La micro-electromecánica (MEMS) y la micro-optoelectromecánica (MOEMS) son de especial actualidad. La microfluídica es otra nueva tecnología que implica el diseño y la producción de dispositivos (MEMS u otros) que trabajan con volúmenes de fluidos extremadamente pequeños. "Lab-on-a-chip" es una idea relacionada a este tipo de dispositivos. En general, nos referimos aquí a *microsistemas* (integrados) (Botthof et al. 2003). Este tipo de sistemas se llamarían *sistemas* embebidos si además se les añadiera algún tipo de software. DARPA califica al desarrollo futuro de los microsistemas como la "próxima revolución" (Lemnios 2004). Las cifras del mercado apoyan esta idea. El mercado mundial de los microsistemas creció desde 14 B\$ (billones de US\$) en 1996 hasta 50 B\$ en 2002. Se espera que para el 2005 se llegue a la cifra de 68 B\$ y que para el 2010 supere los 200 B\$ (BMBF 2004).

A finales de esta década se podrán construir identificadores sencillos, chips de memoria y procesado, o sensores y dispositivos de comunicación a corto alcance. Todos ellos serán más pequeños que las propias células humanas, de unas 10 micras. Podríamos implantar numerosos de estos chips en las capas más exteriores de la piel y, usando tecnología auto-organizativa, distribuirlos en circuitos útiles y en los artilugios electrónicos de los usuarios. Ya pueden implantarse circuitos de semiconductores usando impresoras de tinta, así que es fácil imaginar que se implantasen circuitos de forma indolora en nuestras manos en la tienda de la esquina. La idea es usar una arquitectura en capas, con componentes adheridos de forma permanente a la piel y en contacto con los capilares sanguíneos y las terminaciones nerviosas. Estos componentes se comunicarían por infrarrojos con otros que estarían sobre la piel, que se desgastarían o desaparecerían pasados unos días. Otros chips estarán unidos de fábrica a finas membranas de polímero que se adhieran a la piel, como tatuajes temporales infantiles, y se podría añadir circuitería a más alto nivel en parches adhesivos como si fuera Tensoplast. La combinación de capas permite construir artefactos completos y vincula el cuerpo con el ámbito electrónico, incluyendo Internet. Veamos todo lo que podría construirse.

Se podrían implantar sensores médicos que controlaran la composición química de nuestra sangre 24 horas al día y 7 días a la semana, y se pondrían en contacto con los hospitales a través de nuestros teléfonos. Estos ordenadores podrían controlar en remoto, la administración de fármacos y así mantener la sangre a niveles constantes. Incluso se podrían implantar membranas porosas que abrieran o cerraran los poros de forma electrónica para asegurar dosis exactas y así mejorar la eficiencia de los fármacos.

Se podrían implantar teléfonos móviles, reproductores de MP3, agendas digitales y otros aparatos electrónicos en nuestras muñecas, incluyendo los teclados. Podrían permanecer prácticamente invisibles hasta que los tocáramos y se iluminaran. La circuitería en sí estaría hecha de dispositivos prácticamente invisibles. De esta manera hasta que no se encendiera el aparato, sólo se notaría una pequeña variación en el color de la piel.

Los displays de estos dispositivos podrían ser pequeños LEDs orgánicos. Podríamos tener una sola luz indicadora sencilla, un tatuaje activo o el display de un ordenador entero. Tener una TV impresa sobre la parte posterior de las manos puede resultar muy atractivo. Ciertamente, habrá un abanico nuevo de posibilidades muy interesantes para adornar el cuerpo. ¡Se podría incluso llegar a ver teletubbies verdaderos!

Sería posible ligar la tecnología activa de la piel a la cosmética y a la perfumería para efectos positivos, así como a un ambiente dominado por las TIC al que se pretende llegar dentro de diez o quince años. Algunos de los primeros ejemplos exitosos de la nanotecnología se pueden ver en la industria de cosmética. Los colores se pueden hacer tanto usando la difracción como los tintes, así que para cambiar el color de un material podría ser suficiente cambiar simplemente su textura superficial (así es como se colorean las alas de las mariposas). Conque si se pudiera comunicar al maquillaje qué color hacer con sus nano-partículas, los componentes podrían reorganizarse para conseguir el color deseado. La idea de un espejo digital de baño se inventó para permitir esto. Imagínese a una señora maquillándose por la mañana, tarea que puede llevar mucho tiempo. El espejo digital le mostraría maquillajes alternativos recomendados. La señora se pondría el maquillaje inteligente sin mucho cuidado y después, seleccionaría la imagen deseada en el espejo. El maquillaje, entonces, se configuraría para obtener esa imagen, usando la capa inferior de la piel activa (invisible). A lo largo del día, se podría cambiar el maquillaje activo según el régimen seleccionado, serio en la oficina o seductor durante la comida con su pareja. De la misma forma actuarían su pintauñas y su perfume. La piel activa incluiría pequeños elementos que pudieran pulverizar el perfume que se desee.

Otra idea electrónica para el mercado femenino es hacer uso del nuevo campo de la electrónica basada en la silicón. El volumen de un implante de pecho típico es enorme para estándares electrónicos, así que podríamos hacer casi cualquier cosa en él, desde memoria mamaria a un ordenador completo.

También llegará a ser posible crear vínculos con los nervios y registrar y reproducir sensaciones, no antes del 2015. Se podrá conocer a alguien en un entorno virtual, y sentir un apretón de manos, puesto que ya se conoce lo que es un apretón de manos verdadero. Se podría simplemente reproducir en los mismos nervios las mismas señales nerviosas como las que generan la sensación real. Se necesitaría implementar piel activa en las manos y en los dedos para conseguir entornos inmersivos convincentes, aunque no sería necesario hacerlo sobre el cuerpo entero. Algunas personas optarían por parches adicionales para que pudieran tener sexo a través de redes, o para los deportes, realimentando al ordenador para que les entrene. Se podrían tener, con toda seguridad, interfaces informáticas avanzadas para juegos de ordenador. Se espera que la calidad y la gama de entradas mejoren, hasta alcanzar al equivalente del siglo XXI del *holodeck* (simulador de entorno holográfico) de Star Trek, que, supuestamente, no llegaría hasta el siglo XXV. Los vínculos usarían nanotubos de carbón (véase la Sección 4.11), que serían lo suficientemente delgados como para permitir un implante

indoloro. Finalmente en lugar de pinchar en terminaciones nerviosas, podremos hacerlo en la médula espinal o el cerebro directamente, que aunque es mucho más complicado acabará ocurriendo.

Como vemos, el vínculo entre lo real y lo imaginario tiene muchísimo potencial. Pero sin duda alguna, también existen muchos riesgos y peligros. Evitar la pérdida de datos, garantizar la seguridad de los mismos, reciclar chips o evitar riesgos para la salud son sólo algunos de los retos que conlleva formular un futuro como este.

4.8 Automatización de la Programación

La configuración de sistemas, la localización y superación de fallos e incidencias, el uso de ayudas, etc. son temas que dominan especialistas bien entrenados y que normalmente llevan al usuario común al desespero. Esto se debe a que todas estas tareas necesitan la interacción con software (SW) complejo a un nivel de entendimiento inalcanzable por el usuario. Lo que de verdad quisiera éste sería plantear los problemas en un lenguaje normal y esperar a que el sistema pudiera resolver el problema por sí solo. Un sistema de este tipo debería ser capaz de transformar las peticiones informales en especificaciones formales y, basándose en ellas, programarse a sí mismo, un proceso también conocido como *síntesis de programa*, que trata la programación de forma adecuada en forma de operaciones basadas en conocimiento.

Aunque las TI tuvieran mucho éxito en producir productos SW muy amplios y complejos, la disciplina de la ingeniería del software está todavía en estado crítico. Se pueden encontrar entre 1 y 7 errores en cada 1000 líneas de código en un sistema medio según un estudio de EEUU. El *Standish Group* informa que el porcentaje de proyectos software exitosos ha bajado de un 34% en 2002 a un 28% en 2004. El resto de programas sondeados fracasaron en proporcionar las funciones esperadas, en cumplir los requisitos o, simplemente, se abandonaron por motivos diversos. Un ejemplo espectacular de este tipo de fracaso ocurrió en el 2004, en el que un sistema de peaje para los camiones en autopistas alemanas tuvo una demora de un año y medio causando una pérdida de varios miles de millones de Euros. Demoras parecidas son norma en todos los sectores y también en pequeñas y grandes empresas que usan sistemas de software complejos. Así que deberíamos plantearnos las siguientes cuestiones críticas:

- ¿Por qué incluso los mejores equipos no producen más de **10** líneas de código al día?
- ¿Por qué se encuentran **6** errores cada 1000 líneas de código?
- ¿Por qué **1 de cada 3** grandes proyectos se abandonan incluso antes de terminarse?
- ¿Por qué sólo **1 de cada 8** proyectos de software terminados se consideran “exitosos”?
- ¿Por qué seguimos sufriendo grandes pérdidas por código SW erróneo como la destrucción del prototipo del Ariane-5 o el Climate Orbiter que no encontró Marte?

Otro aspecto de este embotellamiento se puede ver en los fantasmas de los sistemas operativos (SO) actuales. La inflexibilidad de producción de SOs está bloqueando el funcionamiento de las fuerzas del mercado en las TI, causando el desgraciado y continuo

dominio de una sola empresa. Sólo el movimiento de código-abierto basado en Linux es la mayor de las amenazas que jamás ha tenido el gigante de software Microsoft.

El embotellamiento se ve de forma especial en la programación de sistemas multiproceso. Los lenguajes de programación desarrollados para copiar, con su inherente paralelismo, son tan complejos que rara vez funcionan de la forma en la que debieran hacerlo en teoría. Una mayor automatización en las tareas de programación, es decir, mayor síntesis de programa sería, de nuevo, el remedio para este problema.

Con la intención de mejorar la deplorable situación de la producción de SW, la industria está empezando a tomarse el problema algo más en serio y a transformarse en una industria de SW, en el sentido estricto de la palabra. Recientemente, se ha propuesto el concepto de optimización de entrega del software refiriéndose a entender el desarrollo de SW como un negocio común que se llevaría a cabo como cualquier otro proceso de producción industrial y daría como resultado software cómodo. Parte de este proceso es la especificación descriptiva de las tareas hechas en un lenguaje formal y su traducción a código de programación, en parte por un sistema de desarrollo y en parte a mano. UML (*Universal Modelling Language*) o DSL (*Domain Specific Modelling Languages*) son los formalismos a partir de los cuales se puede dirigir el software para que consiga una tasa de automatización de hasta un 80%, siguiendo los actuales estándares. Actualmente existe un debate acerca de si UML es un lenguaje demasiado generalista y por ello se cree que DSL podría ser más apropiado. Es un debate inútil puesto que la respuesta ya se ha encontrado en el área de la lógica computacional hace tiempo: las estructuras lógicas generales en UML no pueden evitarse en conjunto si se aborda la síntesis, pero la información semántica que aparece en DSL puede ser de gran ayuda.

De todas formas, la síntesis de programas vuelve a estar en portada, aunque con nombres como programación basada en modelos o aplicación dirigida por modelos o, simplemente, desarrollo de software. Hoy, cualquier Entorno Integrado de Desarrollo (*Integrated Development Environment, IDE*) para la producción de SW ya admite UML en el sentido antes descrito. Desgraciadamente, rara vez interactúan las grandes empresas de SW que producen IDEs con la comunidad de síntesis de programas basada en la lógica. Éstos han desarrollado sistemas muy exitosos, de los cuales el mejor es KIDS del Instituto Kestrel en Palo Alto, California. DARPA calificó a KIDS como uno de los mayores éxitos dentro de su política de financiación. No hay ninguna tecnología del tipo de KIDS que se use en las IDEs de hoy en día aunque no haya técnicas de síntesis que puedan sortear el nivel lógico. Así que todavía existe un gran potencial para mejoras futuras. Por ello, el objetivo debe ser una síntesis interactiva a partir de descripciones informales de tareas.

La dirección de esta investigación tiene particular importancia para la economía europea. Esto se debe a que la mano de obra es muy cara en Europa, lo que lleva a que la mayor parte de la producción de software europeo se hace en la India, México, Rusia, etc. Esto

funciona bien para el software como materia prima. Pero los límites de este tipo de productos se están encogiendo de forma drástica (Carr 2004). Los productos hechos a medida son los que importan económicamente más que nunca. La síntesis de programas tiene la cualidad de disminuir de forma drástica la cantidad de mano de obra necesaria para la producción de SW de cualquier tipo. Así que financiar la investigación de síntesis de programas podría, eventualmente, llevar a un auge de la industria del software europeo en particular y a las TI en general. Acciones gubernamentales como la iniciativa de software de EEUU lanzada durante el gobierno de Clinton, apuntan en esta dirección.

Por ejemplo, la parte de SW en un coche es de un 5%, mientras que en el 2020 se estipula que sea de un 13%. En un teléfono móvil esta parte llegó al 40% en 1999 mientras que hoy en día asciende a un 70%. En la actualidad, existen procedimientos que intentan reducir el coste del desarrollo de software y de la tasa de fallos de dos formas distintas. La primera consiste en estandarizar los procesos de desarrollo para que los módulos de SW se puedan usar en múltiples ocasiones. La otra se centra en usar las sinergias entre distintas áreas de producción para que productos similares puedan compartir software. Un ejemplo de éxito de esta estrategia es "syngo", una interfaz humana uniforme para muchos productos, concretamente 52, de Siemens dentro del sector médico, instalado ya 22.000 veces por todo el mundo. Con syngo los costes de desarrollo se podrían reducir a más de cien millones de euros. Al éxito comercial de esta estrategia hay que añadir la uniformidad resultante de la interfaz.

Las dos estrategias podrían apoyarse, de nuevo, en tecnologías de síntesis de programas, ya que se podría detectar, sistemática y automáticamente, la estandarización y similitud en especificaciones formales. El ejemplo demuestra el potencial existente en este tipo de enfoque. Por ello, merece la pena invertir en formalizar las especificaciones de los sistemas desde este punto de vista. Si las especificaciones constaran del modelado de los usuarios, incluyendo las obligaciones cognitivas y las preferencias de los usuarios, entonces se podrían desarrollar las soluciones, lo que simplificaría el uso de los dispositivos resultantes de forma considerable, por ejemplo, modelando la interfaz de distintos dispositivos de forma análoga. En la industria esto se conoce como plataforma de interfaz común por sus productos e implica estandarizar la arquitectura subyacente. Aparte de modelar al usuario dentro de las especificaciones, la incorporación de sistemas computacionales en la realidad necesita que las especificaciones también cubran las tecnologías envolventes del tipo comentado en la sección anterior.

Es un hecho que los sistemas se desarrollan de forma independiente, e incluso competitiva, con respecto a los demás. Sin embargo deberían cooperar unos con otros. Un tema futuro es, por tanto, darse cuenta de la interoperabilidad entre sistemas distintos mediante los llamados servicios web y otras forma que una vez más se aliviarán de forma sustancial mediante más inversiones en la parte de especificación de los sistemas.

Aparte de estos métodos para el desarrollo de grandes sistemas, los nuevos paradigmas de computación son prometedores para nichos particulares de aplicaciones. Uno de estos paradigmas es la biomimética o informática orgánica, cuyo objetivo es la construcción de sistemas auto-organizables que siguen los principios conocidos por la biología para superar la creciente complejidad de los sistemas. Algunos experimentos han demostrado que usando estas técnicas se puede optimizar, por ejemplo, el control de semáforos para evitar atascos. De forma similar *la computación autónoma* apunta hacia la capacidad de los sistemas para que resuelvan problemas localmente y sin interacción humana. Detrás del término metaheurística (Hoos and Stützle 2004) existe un conjunto de métodos ya comentados en la Sección 4.3. Éstos permiten resolver un gran número de problemas complejos con algoritmos simples y fácilmente programables usando una búsqueda local estocástica. Posiblemente, con estos métodos, los *sistemas de software auto-adaptativos* para numerosas aplicaciones sean de interés.

En resumen, la tarea de producción de software es tan compleja y la economía del software tan prominente que cualquier esfuerzo es bueno para mejorar la posición de Europa en este contexto.

4.9 Arquitecturas de Sistemas

En nuestro descenso desde los sistemas o agentes inteligentes hemos llegado al nivel de sistemas arquitectónicos. Aunque las arquitecturas tienen un papel en todos los niveles, incluso los más altos, y ya se han comentado en secciones anteriores (por ejemplo la 4.7), normalmente se les conoce como la interfaz de hardware/software (Hennessy and Patterson 1998) y en ese sentido están unidas al nivel físico, lo que explica el lugar de la sección actual.

Cualquier ordenador moderno tiene cinco componentes clásicos: el procesador con su parte de control y su parte de ruta de datos, la memoria, la entrada y la salida. Aunque últimamente un ordenador es un dispositivo físico, su lógica interna no puede entenderse sin el nivel arquitectónico de abstracción. Este nivel se enfoca hacia las funciones del ordenador en términos de pequeños pasos, llamados instrucciones (por ejemplo, la suma de los contenidos que hay en dos lugares de la memoria). La selección de un conjunto de instrucciones determina la estructura de un ordenador, de ahí el término de *arquitectura del conjunto de instrucciones*, o simplemente *arquitectura*.

El área de la arquitectura de los ordenadores es una historia de éxito fascinante que, desafortunadamente, ocurrió, principalmente, en EEUU. Este éxito se debe, hasta cierto punto, a la bien conocida ley de Moore (véase la Sección 4.11). A este nivel, la síntesis del hardware a partir de especificaciones ya es cierta, un logro que aún no ha llegado a un nivel comparable al nivel de software comentado en la sección anterior. Aunque el mercado de hardware está dominado por compañías no europeas, existen posibilidades para Europa a un nivel arquitectónico en nichos para arquitecturas especializadas.

En los setenta y ochenta la idea de construir hardware según especificaciones (por ejemplo para aplicaciones como la deducción) estuvo muy perseguida. En los ochenta, el progreso de todo lo relacionado con el hardware fue tan rápido que las ventajas de las arquitecturas de las aplicaciones se devaluaron debido al aumento de las velocidades de los procesadores. Lo mismo ocurre hoy. De todas formas, es un hecho que la eficiencia computacional que se obtiene con una arquitectura que concuerda perfectamente con aplicación, es tres veces más rápida que con una arquitectura programable de uso genérico (Aarts and Marzano 2003). En este enorme espacio existe un gran potencial para mejorar el funcionamiento de las aplicaciones. Con la síntesis automática de la que se dispone, aplicable a la producción de hardware de la misma forma que a la de software, se podrían diseñar chips contruidos según especificaciones, mucho más baratos. La automatización de la síntesis sería más decisiva si el "hardware" consistiera de estructuras a nano-escala y si la distinción entre hardware y software fuera más borrosa todavía. De cualquier modo, la subida de los costes de producción de un nuevo circuito integrado con la tecnología actual restringiría esta flexibilidad entre la gama de chips configurables.

La arquitectura va más allá de la configuración de ordenadores con un solo procesador. Antes de nada la computación de alto-rendimiento se aprovecha de los sistemas multi-procesador. A pesar de los esfuerzos a escala europea en los ochenta, Europa tampoco pudo ponerse al nivel de EEUU en este ámbito especializado, probablemente porque su tecnología se basa en gran medida en especializarse en la tecnología de un solo procesador. A medida que entramos en escenarios de AmI con muchos procesadores de muchos tipos en el entorno (recuérdese la figura de los dispositivos ubicuos de la Subsección 4.7), aparecen nuevos retos que podrían verse como ocasiones, para que Europa entre en este nuevo mercado de oportunidades. Esto demuestra que la conectividad de la comunicación es, en realidad, una parte de una arquitectura para este nuevo mundo de realidad computacional. Por ello, aunque las comunicaciones no sean un tema explícito de este informe, debemos mencionar este amplio campo que, de todas formas, está unido a las TI.

Aunque las redes estaban establecidas al menos desde los sesenta, el auge de la computación distribuida no ocurrió hasta los noventa después de la comercialización del *world wide web* (www), basado en Internet. Internet ha provocado la convergencia de las TI con las comunicaciones y de la tecnología de los medios con las TIC. También ha ensanchado los puntos de vista de la informática como un fenómeno ubicuo, dominando sobre todos los aspectos de nuestras vidas y todas las partes de las herramientas, materiales y cuerpos orgánicos, tanto artificiales como naturales, de ahí que se llame informática dominante. La extensión actual de estos puntos de vista a asuntos físicos y procesos biológicos - el mundo como un ordenador- se puede ver como una continuación lógica de este estilo de pensamiento tecnológico. En otras palabras, la arquitectura será más compleja y lo abarcará todo.

La arquitectura de Internet se basa en un modelo con los siguientes niveles (de abajo a arriba): interfaz de red, protocolo de Internet (por ejemplo IP, ARP, ICMP, IGMP), transporte de servidor a servidor (por ejemplo TCP) y aplicación (por ejemplo HTTP, FTP, SMTP). Como se ve, todos los niveles por encima de la interfaz vienen caracterizados por ciertos protocolos (es decir, software especializado). Todos experimentamos a diario que esta arquitectura es, de nuevo, una historia de éxito fantástica que seguirá yendo hacia el futuro con una gran variedad de oportunidades.

Una nueva tendencia es la cooperación entre módulos funcionales diferentes e incompatibles entre sí (hechos, posiblemente, en lenguajes distintos como Java, es decir, J2EE, o PuntoNet) mediante los llamados servicios web, que están por encima del protocolo de Internet. Como puede imaginarse, estos servicios web pueden llegar a ser extremadamente complejos lo que, una vez más, está presionando para mejorar las capacidades de síntesis de programas, como ya se ha dicho en la sección anterior.

Esta tendencia ha culminado con la idea de ampliar la arquitectura de Internet hacia una arquitectura que permita las *redes distribuidas* (Berman et al. 2003; Foster et al. 2004).

La idea básica de las redes distribuidas es crear una red como Internet, que permita establecer organizaciones virtuales que compartan recursos de todo tipo (datos, poder informático, funciones aplicables). Imagínese una empresa pequeña que necesite ciertos módulos funcionales para el desarrollo de su negocio pero no puede permitirse comprar y mantener una plataforma cara, del tipo que se ha comentado en la Subsección 4.6. Con las redes distribuidas podría establecer, temporalmente, una conexión virtual con algún proveedor de dichos servicios, de manera que se satisfagan sus necesidades como si tuviera la plataforma a su propia disposición, exceptuando, claro está, que tendría que pagar por el servicio. Es obvio pensar que compartir los recursos no sólo puede atraer al sector de los negocios, sino que también a cualquier otro tipo de organizaciones como instituciones de investigación, gobiernos, etc. (véase por ejemplo <http://www.eu-datagrid.org/>).

Junto con esta tendencia dominante hacia la información compartida y las tecnologías de la comunicación, se está pasando de sistemas centrados en el texto a sistemas sensoriales (incluyendo no sólo la visión y el oído, sino también el tacto y las fuerzas de realimentación) que enganchan a los participantes de muchas maneras.

A pesar de la importancia de la computación distribuida y en red, esta área tiene muchos y muy grandes problemas sin resolver, que en un futuro se agravarán a medida que aumente el número de elementos de la informática, su variedad y la cantidad de información intercambiada. Aparte de los problemas de seguridad, calidad de servicio y fiabilidad, ya estudiados de forma extensa, los consumidores están sufriendo la contaminación informativa al inundarles con correos spam o basura que hay en cantidades de miles de millones, de modo que el número de correos electrónicos generados automáticamente ya ha sobrepasado a los restantes. A pesar de la gran potencia de los motores de búsqueda, a los usuarios que buscan algún conocimiento específico, se les inunda con información irrelevante. La compañía Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI) y la Fraunhofer Gesellschaft (FhG) han concluido, en ocho tesis, que Europa tiene buenas posibilidades en esta área para colocarse en una posición líder con tecnologías que resuelvan los actuales problemas usando especialmente la tecnología de IA (agentes inteligentes de software, semántica web, usos intuitivos) (Wahlster and Weyrich 2003). Recuérdese que en la Subsección 4.3 se ha señalado la importancia de la IA (basada en agentes) para las redes distribuidas.

4.10 El Potencial en los Niveles de Abstracción

Antes de llegar al nivel más específico de abstracción en la próxima sección, veamos todos los niveles en conjunto.

Recuérdese de la Subsección 4.2 que la distinción de estos niveles de abstracción ha sido, y será, extremadamente útil en el desarrollo de las TI. De cualquier forma hacer esto también tiene un coste. Lo verdaderamente importante son sólo dos niveles: uno la entrada desde el mundo exterior (datos, programas, peticiones, etc.) y otro el nivel físico. Todos los niveles intermedios son medios para que la complejidad sea viable para los expertos en las TI. El precio que se tiene que pagar es un exceso de recursos. Necesitamos compiladores para traducir los programas a código ensamblador y ensambladores para transformar este código a lenguaje para máquinas que, a su vez, tiene que ser procesado por la arquitectura del hardware físico.

Aún así existe un gran potencial de optimización en cada uno de estos niveles así como en el proceso completo. Éstos son menos espectaculares que las aplicaciones en sí, cuyas ventajas se ven de inmediato. Por ello existe la tendencia de buscar financiación para promover los logros más espectaculares. Pero las optimizaciones en los distintos niveles de abstracción, por ejemplo a través de lenguajes de descripción más apropiados y su síntesis en programas, a través del perfeccionamiento de los compiladores o de maneras más ingeniosas de ejecución de instrucciones u otras, son por lo menos tan importantes para el progreso en las TI como las aplicaciones espectaculares, porque éstas no se consiguen sin aquéllas.

A medida que el campo va desarrollándose, parte del proceso de optimización puede consistir en eliminar los niveles intermedios completamente. Esto puede conseguirse, por ejemplo, poniendo las aplicaciones sin reprogramar/conectar/seleccionar (hardwired) directamente en los chips. En el contexto de la AmI, donde hay que trabajar con una gran variedad de entradas, esto será una condición necesaria para progresar y reducir la distancia entre el mundo físico y el virtual, del que ya hablamos en la Subsección 4.2.

4.11 El Nivel Físico

Dentro de los niveles de abstracción introducidos en la Subsección 4.2, el nivel elemental, al cual se dedica esta sección, tiene una importancia fundamental. Mientras que este nivel en la tecnología actual se llame, de forma correcta, nivel "físico", veremos qué disciplinas distintas de la física, como por ejemplo la química y la biología, empiezan a tener importancia.

La tecnología informática desde hace algunas décadas se ha basado en los transistores, inventados en 1947 y en los circuitos integrados (CI), inventados en 1958. Ambos están hechos de silicio usando la tecnología CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*). Conocido como una tecnología de micro-sistema ya que sus estructuras, durante décadas, podían medirse en micrómetros. Pero recientemente se han hecho transistores de 4nm (nanómetros) en los laboratorios, con lo que la tecnología CMOS se aplicará en la nano-era.

Esta tendencia hacia la miniaturización que sigue la (primera) ley empírica de Moore (que dice que la densidad de datos en los circuitos integrados se duplica cada dieciocho meses), ha conseguido llegar a una densidad de más de un billón de transistores en el reciente chip Itanium-4 de Intel, con un espacio de 65nm para cada transistor. Esta tendencia hacia densidades cada vez más altas, ha incrementado al mismo tiempo la velocidad de las unidades de procesado central (CPU) de los ordenadores. Ahora se puede integrar en un chip, no sólo el procesador sino también una memoria de silicio que aumenta la velocidad de lectura/almacenamiento de la arquitectura von Neumann.

Las tendencias generales en este guión son las siguientes. En el período de 1990 a 2001 la velocidad de la CPU ha aumentado 393 veces. El reciente anuncio del "Cell Processor" desarrollado por IBM, Sony y Toshiba tiene una velocidad de Teraflops (es decir, de trillones de operaciones por segundo). Durante el mismo periodo la capacidad del disco ha aumentado 1200 veces, la memoria RAM (*Random Access Memory*) 128 veces, la velocidad de transmisión inalámbrica 18 veces y la densidad de energía de una batería 2.7 veces (Aarts y Marzano 2003). Las tecnologías de transmisión y energía no son tema de este informe. Por ello aquí nos centraremos en la CPU y en la memoria, empezando por la CPU.

Aparte de los procesos de tecnología CMOS en curso, los competidores están trabajando sobre la base de cálculos de estándares de CMOS físicos en laboratorios de todo el mundo. Esto se debe a que en una década aproximadamente, se prevé que el progreso en esta tecnología baje por dos razones. La primera es que la segunda ley empírica de Moore afirma que el coste para construir una fábrica de chips aumenta de forma exponencial y con una velocidad mayor que la de la reducción del tamaño de

los transistores. Por ejemplo, actualmente los costes para este tipo de empresas son de 3-4 B\$ (billones de dólares), mientras que en 2010 se espera que sea de 10 B\$. El desplazamiento a fábricas más grandes, que manejen obleas de 300mm en plantas punteras, se ha justificado por la bajada del precio de cada transistor. La transición hacia obleas de 450mm y fábricas más grandes, como se planeó en un principio en la guía ITRS, está cambiando. La segunda razón depende del fenómeno físico de la disipación del calor o, lo que es lo mismo, reside en los límites físicos para una posterior miniaturización, debido a que a ciertas distancias atómicas ocurren fenómenos cuánticos indeseados. Típicamente, los competidores en tecnología CMOS convergen tecnológicamente en el sentido descrito en (Nordmann 2004).

Una idea es utilizar moléculas para la computación o como unidades de memoria, entendiendo que pueden cambiar entre distintas configuraciones - dependiendo, por ejemplo, de la presencia o de la ausencia de un solo electrón - o que pueden reaccionar con otras moléculas. En otra línea de trabajo, se han hecho experimentos que han demostrado que las soluciones moleculares pueden usarse como ordenadores para resolver problemas difíciles (Adleman 1994). Este tipo de bio- informática (o informática biónica o molecular) podría superar la barrera de complejidad que limita la arquitectura del ordenador de von Neumann. Por otro lado, se ha progresado muy poco en esta área y es difícil imaginar que en un futuro próximo se puedan hacer ordenadores con un caldo molecular.

Pero existen muchas otras ideas. Algunas dependen de los efectos de campo usados en los transistores CMOS o en el transporte de electrones y sus cambios debido a efectos físicos como el corte del canal de corriente, los efectos del espín, el cambio de la órbita molecular, el bloqueo de Coulomb, y el efecto Josephson. Otras usan efectos como el espín nuclear (el cálculo de la resonancia magnética nuclear o NMR), el estado de los electrones en los átomos (mecanismos de óptica cuántica, electrónica de espín o espintrónica), la hibridación del ADN (informática de ADN), el transporte de iones y biomoléculas (como las neuronas).

En particular, un ordenador con arquitectura a escala molecular puede hacerse también con nanotubos y/o nanocables semiconductores con un tipo de técnica híbrida que combina los CMOS con características novedosas. En Israel se construyeron transistores con nanotubos de carbono (CNT) utilizando el ADN como modelo (Chang 2003). Asimismo la compañía Infineon dio a conocer interruptores eléctricos de CNT (Focus 2004). El investigador de HP, Phil Kuekes, tiene la patente de una técnica de electrónica molecular para producir CI cuyos componentes son moléculas y cables a nanoescala, es decir, de un grosor efectivo de 40nm y teórico de 2nm (Computer Zeitung 7, 2005). Ya se han hecho funciones de lógica compleja así como una memoria de 64 bits con esta técnica de electrónica molecular. Estos logros técnicos a nanoescala abren perspectivas para posibilidades como una mayor densidad de transistores integrados en chips - o en otros sitios, como en la fibra de una camiseta -

de los que son posibles con tecnología CMOS. Además ofrecen un gran número de ventajas en relación con la actual tecnología de chips, no sólo por una producción química más sencilla y por tanto más barata, sino también por tener menos requisitos estrictos para la precisión y un menor consumo de energía.

El punto de vista energético de la tecnología CNT es particularmente importante y no sólo podría transformar la tecnología del transistor sino también la red de suministro de energía. Esto es porque los cables cuánticos basados en los nanotubos pondrán tan poca resistencia eléctrica que no disiparán electricidad en forma de calor (Jonietz 2005) lo que revolucionará a gran escala la ingeniería eléctrica.

Existe un amplio espectro de futuras opciones como las ópticas, la opto-electrónica, o los componentes fotónicos funcionales. Por ejemplo, se han desarrollado prototipos de chips fotónicos que permiten el procesado óptico de señales transferidas a través de fibra óptica para que la conversión de/a señales eléctricas no fuera necesaria en interruptores y en routers.

La idea más drástica para alternativas de ordenadores es la de usar fenómenos físicos a nivel de partículas atómicas (posiblemente también subatómicas) para los sistemas informáticos. A este nivel los fenómenos descritos en términos de mecánica cuántica y cuanto-electro dinámica (los espines de átomos, iones, y electrones, o la polarización de fotones) nos dan, una vez más, nuevas posibilidades para los dispositivos de los ordenadores que podrán superar, la ya comentada, barrera de complejidad, sobre todo porque un estado cuántico puede ser una superposición de posibles valores de una cantidad física. Existen, de todas formas, muchas dificultades técnicas relacionadas con este concepto, así que una aplicación potente sólo aparecerá en un futuro lejano.

Sin embargo, la Comunicación y Procesamiento de Información Cuántica (*Quantum Information Processing and Communications, QIPC*) se ha convertido en un nuevo campo científico con orígenes a finales de los 80 y principios de los 90. Existe un gran esfuerzo mundial para avanzar en la investigación en QIPC, lo que ha llevado a una más profunda y extensa comprensión de las leyes cuánticas fundamentales, de la teoría de la información y de la informática. El número y la calidad de los artículos de investigación publicados son el testimonio de la intensa investigación en este campo. Muchos de ellos pueden encontrarse en el repositorio de Los Alamos National Laboratory (LANL) (<http://xxx.lanl.gov/archive/quant-ph>).

La *computación cuántica* tiene como objetivo principal desarrollar un procesador cuántico (QIP) que utilizaría el principio de superposición cuántica para llevar a cabo un gran número de conmutaciones simultáneas. Este "paralelismo cuántico" permitirá obtener soluciones eficientes a cierto tipo de problemas, como por ejemplo la factorización de números enteros grandes. Se están llevando a cabo unas diez o más propuestas; algunas se pueden escalar y ya se ha conseguido crear modelos para

laboratorios que manipulan 7-8 qubits, por ejemplo, iones atrapados, QED (electrodinámica cuántica) de átomos y huecos, ópticas lineares, etc. Otras están en una fase de desarrollo anterior como las uniones Josephson superconductoras. Se pueden encontrar más detalles en una guía sobre las QIPC en <http://qist.lanl.gov/> y en un informe estratégico europeo en <http://www.cordis.lu/ist/fet/qipc.htm>.

Por mencionar algunos experimentos internacionales, Ray Simmonds y su equipo del Instituto de Estándares y Tecnología en Boulder han hecho recientemente el enredo de electrones en dos microchips supraconductores utilizando la unión-Josephson como un bit cuántico (qubit). Esto representa un gran paso hacia un ordenador cuántico (Simmonds et al.2005). También, Hasegawa y sus co-investigadores del Instituto Nacional de Ciencias de la Materia y del Riken en Japón han desarrollado un interruptor con un puente de 1nm de largo entre cables de sulfuro de platino y de sulfuro de plata que pueden apagarse y encenderse a MHz con una velocidad que podrá llegar hasta 1 GHz (<http://www.nmis.go.jp/eng9/> y <http://www.riken.go.jp/>).

La *comunicación cuántica* explora el uso de enredos cuánticos y ha tenido mucho éxito en la práctica. Experimentos en comunicación cuántica por fibra óptica han llevado a demostraciones a distancias de 10-12 km; en los próximos 5 años se podrán alcanzar distancias mayores. El grupo del Catedrático Zilinger en Austria, el grupo del Catedrático Gisin en Génova y los grupos de investigación en el LANL en EEUU están investigando intensamente sobre la comunicación cuántica en el vacío perfecto. Dentro de una década, se podrán poner fuentes de fotones enredados en los satélites, que permitirán una comunicación cuántica global, la teletransportación y la criptografía completamente segura. Se prevé que la comunicación cuántica, en los próximos diez años, será una tecnología común y un producto comercial. En forma de prototipo, ya se ha encontrado una aplicación para garantizar la seguridad monetaria. Por ejemplo Toshiba ya ha desarrollado un prometedor sistema de criptografía cuántica. (<http://www.toshiba-europe.com/research/crl>)

La investigación europea ha tenido un papel importante en este sector. Debido a la fase primaria en la que se encuentran las QIPC, éstas han sufrido una crítica masiva, ya sea al nivel de la CE o a nivel nacional. Para una breve visión general véase <ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/fet/qip2-eu-03.pdf>. Existen dos documentos que ilustran el estado actual de la investigación en Europa: "*QIPC: strategic report on current status, vision and goals for research in Europe*" y "*QIPC in Europe*", una colección de 30 artículos de carácter científico escritos por 58 científicos de toda Europa. El texto completo de ambos documentos está disponible en <http://www.cordis.lu/ist/fet/qipc.htm>. Todos estos ejemplos demuestran que esta área tiene un gran potencial de desarrollo, incluso antes de lo esperado.

Hemos visto hasta ahora las perspectivas para tecnologías de CPU futuras. Centrémonos ahora en dispositivos de *memoria*. El estado del arte actual se refleja mediante cintas y

discos magnéticos así como discos ópticos. En los discos magnéticos, la información se guarda en pistas a distancias de unas pocas micras (10^{-6} m). A lo largo de las pistas un único bit de información puede almacenarse en un tramo de menos de 100nm, dando una densidad de almacenamiento de 15 Gbit por cm^2 (1 Gbit = 109 bits). Con estructuras de auto-montaje de partículas magnéticas del rango de los 10 nm, la densidad de almacenamiento podría doblarse (Wood et al. 2003). En comparación diremos que los discos duros de hoy en día llegan a 150 bits/ mm^2 .

El principio tecnológico de los discos ópticos o DVDs (*digital versatile disks*, discos digitales versátiles) sigue la tradición de la litografía y consiste en ir “escribiendo” pequeñas marcas en una superficie (de polímero) que puede leerse con un rayo láser (litografía nanoimpresa o NIL). Este tipo de memoria de polímero es un campo extenso que llegará a permitir discos de memoria óptica del orden de terabits (1 Tbit = 10^{12} bit). Por ejemplo, en Japón se está desarrollando un Disco Versátil Holográfico (*Holographic Versatile Disc*, HVD) con una capacidad de un Terabyte. La velocidad de transferencia de esta tecnología es de 1Gbyte por segundo, 40 veces más rápida que un DVD con una capacidad de 5 Gbytes.

La tecnología de Fuerzas Atómicas Microscópicas (*Atomic force microscope*, AFM), inventada por dos europeos ganadores del premio Nobel, permite leer y escribir marcas aún más pequeñas de las que son posibles con los láseres que se usan actualmente, que están limitados por la longitud de onda de la luz láser. Por ello, a largo plazo, existe un potencial para explotar esta tecnología en dispositivos de memoria completamente nuevos.

Para llevar a cabo la idea de la AmI, aparte de procesadores y memorias, los sensores son de vital importancia. Una vez más, existe un amplio espectro dentro de las tecnologías de los sensores que no podemos abarcar en este informe de ninguna manera. Sólo diremos que ya se pueden etiquetar hasta las proteínas y virus del cuerpo.

Aunque Europa no tenga una presencia en el mercado al mismo nivel que EEUU y Japón en tecnologías de procesadores y memorias, la revolución esperada ofrece muchas nuevas oportunidades. Algunas ya se han aprovechado; por ejemplo la compañía noruega Opticom es pionera en tecnologías de memorias de polímero. En general, Europa es puntera en las ciencias naturales que subyacen bajo estos desarrollos y en la nanotecnología. Lo que hasta ahora ha faltado es el valor para pegar el salto a aplicaciones comerciales de nano-electrónica, nano-biotecnología médica, etc. y sacar nuevos productos al mercado.

4.12 Problemas y Desafíos

Las subsecciones anteriores han esbozado muchas oportunidades para la investigación y desarrollo en el área de las TI. En buena medida, la financiación de estas oportunidades debería seguir una estrategia de *arriba-abajo* como la que se plantea en la Sección 3. De forma complementaria se debería perseguir la financiación de grandes desafíos de particular importancia para el desarrollo de Europa.

En (Nordmann 2004) las “Tecnologías convergentes para el procesamiento del lenguaje natural” se propusieron como un proyecto de investigación puntero que tendría una considerable parte de TI. En (Wahlster 2004) se han listado y descrito once de este tipo de proyectos en el ámbito de las TICs. Entre ellos están “The Multilingual Companion”, “The Service Robot Companion”, “The Self-Monitoring and Self-Repairing Computer”, “The Internet Police Agent”, and “The Intelligent Retail Store”.

Todos están bien fundamentados y tienen el apoyo de este informe. De cualquier modo nos gustaría ampliar esta lista con los que aparecen en (Bibel et al. 2004, Sección 5.3) y añadir algunos más. Lo primero, nos gustaría complementar al “Coche Seguro al 100%” propuesto en (Wahlster 2004) con el siguiente desafío.

- *Sistema Integrado de Transporte Híbrido.* Uno de los tesoros de la herencia europea son sus ciudades y sus paisajes culturales. Muchos de ellos siguen atrayendo a millones de turistas cada año, lo que es una importante fuente para una economía próspera. Al mismo tiempo, esta herencia ya está en vías de extinción debido a la gran cantidad de tráfico, que tiene el potencial de arruinar nuestra salud (gases de combustión, ruido, accidentes, etc.), la arquitectura de las ciudades, su atractivo (sólo hace falta comparar el París de hoy en día con el de hace un siglo) y la ecología de los paisajes (como los Alpes). La razón de esta desafortunada tendencia está vinculada a un sistema de transporte obviamente defectuoso que se basa en vehículos individuales de gran tamaño y peso (coches) para el transporte de masas de poco más de 50kg (es decir, personas; para las mercancías se aplican las mismas consideraciones). Existen formas de transporte público más efectivas que los turismos (limusinas, autobuses, trenes, aviones) y en conjunto podrían competir con los coches particulares, a excepción de que rara vez dan un servicio puerta a puerta tan económico, cómodo y rápido como éstos. El problema reside en las limitaciones de los sistemas individuales (por ejemplo, desde la puerta hasta la estación de autobuses, y viceversa, especialmente en el campo, donde vive más del 60% de la población), en el alto coste del uso ineficiente de los taxis, en no poder dar abasto con el problema del equipaje en un servicio puerta a puerta y en los transbordos pobres y de poca confianza. Para superar todos estos problemas en un sistema de transporte público futuro, se necesitaría un sistema de limusinas mucho más flexible y económico que los taxis actuales así como un sistema de información potente que

integre los distintos sistemas de transporte al servicio de cada cliente y que optimice las prestaciones de todo el sistema por cliente.

La tecnología para muchas de estas características en un sistema de este tipo ya está disponible, pero necesita convertirse en un sistema complejo único. Estas características incluyen una localización individual, aunque anónima, y, por ende, un rastreo de cada pasajero (incluyendo su equipaje así como la recogida/entrega desde/en la puerta de su origen/destino), una optimización de la ruta y de los transbordos en tiempo real y unos precios y pagos automáticos. El apoyo público para desarrollar un prototipo de sistema de este tipo sería un primer paso para volver a las ciudades y paisajes tranquilos del pasado.

Confiar en las fuerzas del mercado no ayuda mucho en este caso. El gasto de energía todavía no se castiga de forma que le duela al consumidor significativamente. Todavía no hay una competición verdadera entre cada sector por separado. No se fomenta una coordinación más allá de los límites de los sectores. Al contrario, existen normas que protegen el estado actual del sistema (por ejemplo, el negocio de los taxistas). La infraestructura para un sistema integrado inteligente necesitaría una gran inversión en la que ningún sector por sí solo está interesado.

- *Sistema de Apoyo Judicial Semántico.* Mientras que las TIC han penetrado en muchos sectores de nuestra sociedad, sectores básicos, como el judicial o la política, han permanecido más o menos intactos a la tecnología. En esencia, se llevan ejerciendo desde hace unos dos mil años. Hace mucho que se necesitan un cambio. El sector judicial podría servir como primer candidato debido a su carácter formal, que se presta a un alto grado de automatización. (Bibel 2005) esboza muchas posibilidades sobre cómo pueden unirse las TI a la situación actual de los sistemas judiciales. Éstas incluyen el establecimiento de una ontología legal, un sistema de conocimiento legal y varios tipos de sistemas de soporte. Un enfoque hacia un proyecto fundado en la UE podría acabar siendo una armonización de los 25 sistemas judiciales de los Estados Miembros en uno solo.
- *Automatización de la Programación.* En la Subsección 4.8 se ha descrito el estado del arte en la programación y el potencial para aumentar el grado de automatización descrita. Se podría llevar a cabo un proyecto que enfocara la tarea de una programación relativamente compleja y, en vez de sólo programarla, construir en primer lugar un sistema de síntesis de programa que pudiera resolver tareas en base a una especificación descriptiva (por ejemplo en UML). Es obvio, que para la tarea particular elegida este enfoque equivaldría a un desvío enorme. Pero la idea es, por supuesto, que el sistema de síntesis, mediante estos ejercicios llegue a un nivel de actuación útil para muchas más aplicaciones, incluyendo computación autónoma.
- *Robot Humanoide.* En la Subsección 4.3 se ha hablado de la prometedora perspectiva de robots humanoides contruidos basándose en principios biónicos y cognitivos. Debido a que Europa está por delante de sus competidores en esta

área y goza de una base científica especialmente fuerte en las áreas respectivas, un enfoque en este tema de investigación sería particularmente ventajoso. Se espera que un robot de este tipo caracterice parte de su inteligencia, en el diseño de su construcción. Adicionalmente el reto es vincular esta inteligencia construida, con la inteligencia cognitiva de los seres humanos (es decir, abstracción, razonamiento, planificación, etc.).

CAPÍTULO 5

Conclusiones

Este informe ha resumido los contenidos de un gran número de documentos relacionados con el estado de las Tecnologías de la Información (TI) desde una perspectiva europea. En esta Sección presentaremos los hallazgos de forma esquemática y se mostrarán algunas de las conclusiones obtenidas.

La evaluación informal de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades se resume en la tabla siguiente. A partir de dicha tabla y del resto del informe, se obtiene la tabla DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades) resumida que aparece en la página siguiente. Esta tabla condensa los hallazgos y las recomendaciones tecnológicas más importantes del informe.

Generalmente, se han considerado los sectores de las TIC y las TSI de entre las tecnologías clave que merecen una atención especial y continuada debido a su relevancia económica y social.

Por otro lado, debe considerarse el hecho de que Europa se queda atrás con respecto a EEUU, Japón, etc. en muchos aspectos incluyendo el número de patentes, la inversión en I+D y en educación, el número de investigadores, el porcentaje de investigación corporativa, la baja tasa de empleo en las TIC, la lenta penetración de las TIC y su paradigma computacional en otras áreas (especialmente en las Ciencias Sociales y las Humanidades), los beneficios netos de las empresas, y muchos más. Por ello, Europa tiene que aumentar sus esfuerzos de forma sustancial.

Se han apuntado nueve grandes tendencias en la evolución de la tecnología: la convergencia de las ciencias y las tecnologías, la miniaturización e integración de los dispositivos, la distribución de la computación y la resolución de problemas, el aumento de la autonomía y transparencia de los sistemas, una migración de lo analógico a lo digital, de lo fijo a lo móvil, y de voz/texto a equipos multimedia, el uso de distintos fenómenos naturales para cuestiones informáticas, la unión de lo real y lo virtual, y la aproximación de lo real y lo virtual.

<i>Fortalezas</i>	<i>Debilidades</i>	<i>Oportunidades</i>	<i>Amenazas</i>
Personas con talento y bien formadas, ricas en ideas.	Fragmentación de las actividades, sistemas y estructuras.	Nuevas motivaciones y compromisos de miembros nuevos.	Quedarse atrás en la competitividad mundial. "Fuga de cerebros".
Capacidad intelectual y base científica excelente.	Falta de sinergia y colaboración intersectorial/interdisciplinaria.	Uso de métodos de las TI para arreglar fallos sistemáticos.	
Estados miembros sobresalientes (Finlandia, Reino Unido, Países Bajos, Suecia, Irlanda, Dinamarca, etc.).	Gran retraso con respecto a EEUU y Japón en número de patentes, inversión en I+D y número de investigadores, especialmente en empresas.	Esperanza en incrementar el presupuesto de la UE para investigación.	Aumentos paralizantes de costes para la financiación de sistemas.

<i>Fortalezas</i>	<i>Debilidades</i>	<i>Oportunidades</i>	<i>Amenazas</i>
Fortaleza en unos pocos sectores de las TIC (móviles, servicios, sistemas distribuidos, microsistemas, aplicaciones SW).	La UE se queda atrás en algunos aspectos de las TIC (procesadores, sistemas de SW, sistemas periféricos).	Las TIC, en todos los sentidos, respetan el área más importante, la innovación futura.	[Las TIC producen pocos problemas al medioambiente, así que no hay amenazas en este sentido].
Excelencia científica en ciencias naturales para nuevos dispositivos.	Posición débil en mercados de CI y SO.	Cambios disruptivos en el desarrollo tecnológico.	Aumento de la brecha competitiva en las TIC.
Industria química poderosa en tecnologías de polímero.	Falta de ambición para nuevas aplicaciones de nanotecnologías.	Capacidad intelectual de las PYMEs.	Riesgo creciente por nano-partículas.
Gran sector de servicios, incluyendo el sector público.	Poca investigación en el área sector de servicios.	Gran potencial para las TIC en el área de servicios. Integración de bases de conocimiento.	Evitar ignorar las bases de fabricación.
FPs como FP6, planes de financiación nacionales.	Falta de integración de genios.	Introducción de planes de becas.	Elevada financiación de arriba a abajo.

La integración de lo virtual en lo real ha sido una de las dos características que se han usado para la estructuración en un campo tan amplio como las TIC. La otra es la estructuración estándar en distintos niveles de abstracción. Entonces, la idea más prometedora y que más lejos llegará es la integración de sistemas inteligentes en las sociedades humanas (a todos sus niveles). Debido a esto la IA, la realidad virtual, la HCI (multimodalidad) y, en general, la unión de lo real con lo virtual son temas clave para I+D en los próximos años. En términos generales esto es cierto pero también hay que tener en cuenta la larga lista de campos de aplicación con sus características particulares. Por ello, los temas tratados en las subsecciones 4.3 a 4.7 son de vital importancia, con lo que tres de los desafíos propuestos se toman de este ámbito: el Integrated Hybrid Transportation System, el Semantic Law Support System y el Humanoid Robot.

<i>Fortalezas</i>	<i>Debilidades</i>
<p>Oportunidades</p> <p>Explotar el ingenio y la fortaleza europea en ciencias naturales y exactas y en ingeniería, en áreas innovadoras como la biónica y los robots cognitivos, los sistemas del conocimiento, síntesis de programas combinado con nuevos paradigmas de programación, dispositivos informáticos a nano-nivel. Seguir el enfoque en las tecnologías de sistemas distribuidos.</p> <p>Aprovecharse de los puntos fuertes de la industria europea (comunicaciones móviles, plataformas de negocios con sistemas del conocimiento integrados, microsistemas, conocimientos químicos para nuevos dispositivos informáticos como los polímeros).</p>	<p>Aprovechar la disrupción esperada en la tecnología de los chips, el potencial en nuevos paradigmas informáticos para aplicaciones SW y las oportunidades para el SW en HCI avanzado.</p> <p>Integración de los sistemas inteligentes a nivel natural, humano y técnico.</p> <p>Aplicar las TIC para optimizar las estructuras y los fallos sistemáticos que entorpecen la innovación.</p>

*Fortalezas**Debilidades*

	<i>Fortalezas</i>	<i>Debilidades</i>
Amenazas	<p>Establecer un transporte público basado en las TIC para evitar accidentes de tráfico peligrosos. Éste llevaría a los pasajeros y sus equipajes de puerta a puerta compitiendo con coches personales en términos de gastos y velocidad.</p> <p>Aumentar la competitividad entre miembros de la UE ofreciendo mayor apoyo a los más avanzados en el sector de las TIC.</p> <p>Promover la integración de las TIC, especialmente en el procesado del conocimiento y con la ayuda de las Ciencias Cognitivas, dentro de las ciencias sociales y humanidades, empezando por el sector judicial para armonizar de ese modo, los 25 más 1 sistemas judiciales de la UE.</p>	<p>Aumentar el nivel de investigación en el sector de servicios para equiparlo al del sector de fabricación y así hacer una Europa completamente competitiva de forma equilibrada.</p> <p>Complementar los planes de financiación actuales, para evitar la fuga de cerebros, fortalecer las PYMEs y reducir lo gastos en los sistemas de financiación actuales.</p> <p>Proporcionar una competitividad europea en armonía con la coherencia social.</p>

De igual importancia es la transformación de la producción de software en una disciplina científica, en otras palabras, la Automatización de la Programación, el cuarto reto propuesto. En la Subsección 4.8 se enfatizó la importancia de centrarse en el modelado (es decir, en especificar de forma descriptiva) de los sistemas planificados dentro de su contexto o entorno. La realización de un sistema implementado basándose en un modelo de este tipo puede, y debe, convertirse en un proceso de producción formal, lo cual garantiza una exactitud respecto al modelo. La industria del software debería tener en cuenta e integrar los modelos ya existentes. Pero este camino también necesita apoyo continuo de investigaciones básicas en disciplinas como la lógica, las matemáticas, la informática teórica, etc.

Aparte de estas dos pautas principales, existe una amplia gama de posibilidades con futuro dentro de las TI en todos sus niveles de abstracción. Esto no sólo se puede aplicar a un nivel físico que, debido a las leyes de la física, impediría la continuación no-interrumpida de la evolución actual de los chips CMOs. En consecuencia se esperan innovaciones importantes en este sector en un futuro próximo.

De forma más general, el informe apoya los retos políticos de la Comisaria para las TSI, Viviane Reding, que son: un mercado libre y estable para la economía de las TIC, innovaciones impulsadas por la financiación de la investigación y los inicios de aplicaciones industriales y la integración de los ciudadanos europeos en la sociedad de información.

Me gustaría terminar este informe con algunas observaciones generales que parecen ser de gran importancia para una perspectiva a largo plazo. Es obvio que el mundo actual

es más complejo que nunca y por ello “complejidad” se ha convertido en una nueva palabra de moda. Aunque el mundo es tan complejo como siempre lo ha sido. Lo que ha cambiado es nuestra capacidad para influenciar en las partes más complejas del mundo y, en consecuencia, influenciar en el futuro del resto del mundo. Esta capacidad se ha habilitado gracias a la tecnología.

La consecuencia de este desarrollo es una creciente responsabilidad de la especie humana en hacer que este cambio sea beneficioso para las generaciones actuales y las futuras, así como para el mundo en conjunto. La “tecnología” para el cambio, la toma de decisiones, el diseño de estructuras y mecanismos sociales han sido las mismas desde los tiempos de la democracia griega: discutir, malentender, hablar, olvidar, recordar, pasar por alto temas importantes, dinámicas de grupo, dominación, poder y todas esas cosas. Está limitado por la capacidad mental del individuo. Para superar todas estas limitaciones se deben otorgar poderes a estas capacidades mediante tecnologías asistidas. Esto es por lo que la IA y las Ciencias Cognitivas (o las Intellectics) junto con las TIC deberán tener un papel dominante en la fase venidera, ya que sólo éstas (y en especial la IA) tienen preparadas respuestas tecnológicas a los problemas en debate.

En este sentido, es importante, aunque no suficiente, pedir ayuda a las ciencias sociales y humanidades (SS&H). Ciertamente es que las Intellectics no tienen contenidos para resolver los problemas humanos y sociales; es el área de las SS&H la que nos proporciona estos contenidos. Pero son las Intellectics las que tienen el marco metodológico para abordar la cantidad cuantitativa pura de conocimiento relevante implicado y para canalizar estos contenidos hacia resultados consecuentes y con ellos hacia un futuro beneficioso. Permite la sinergia y un diseño que consta de todos los aspectos, incluyendo los sociales y ambientales, mientras que la democracia tradicional de la “tecnología” junto con las SS&H siempre se han ocupado de una simplificación exagerada, contradicciones, confusiones y bloqueos. Nótese que aprovecharse del potencial de la tecnología de las Intellectics no tiene por qué implicar tener un punto de vista mecanístico de la naturaleza y la sociedad. Simplemente proporciona la mejor herramienta disponible para apoyar nuestro abordaje al mundo que, de otra manera, sería muy complejo manejar por nosotros mismos.

En resumen, en el nivel más alto de la previsión de la normativa y de la planificación para un futuro beneficioso, tenemos que tener en cuenta la importancia de temas psicológicos, sociales y ambientales, junto a los temas puramente tecnológicos y económicos. Pero inmediatamente después de este nivel está la difusión y penetración de la metodología y tecnología de las Intellectics como el segundo reto más importante ya que su logro es un prerrequisito para alcanzar los objetivos en el nivel más alto y nuestras formas tradicionales de planificar, diseñar, tomar decisiones y resolver problemas son insuficientes para las tareas complejas que nos llegan.

Menciones: El texto se ha beneficiado de discusiones con muchas personas, en particular, con los miembros del HLEG (, Grupo de expertos) en Tecnologías Clave y con los miembros de la Comisión del S&T Foresight Unit K2. Las sugerencias especiales del texto han sido gracias a Luigia Carlucci Aiello, Jean-Claude Burgelman, Olivier da Costa, Teresa de Lemos, Marco Dorigo, Elie Faroult, Sorin Huss, Chunping Li, Patrick Van Hove y Oskar von Stryk. Les estoy agradecido a todos ellos.

CAPÍTULO 6

Referencias

- Emile Aarts and Stefano Marzano (Ed.). *The New Everyday*. 010 Publishers, Rotterdam, 2003.
- L.M. Adleman. *Molecular Computation of Solutions to Combinatorial Problem*. Science 266:1021–1024, 1994.
- F. Berman, A. Hey, G. Fox. *Grid computing: Making the global infrastructure a reality*. Wiley, 2003.
- Wolfgang Bibel. *Intellectics*. Encyclopedia of Artificial Intelligence, John Wiley, New York, 1992.
- Wolfgang Bibel. *Lehren vom Leben – Essays über Mensch und Gesellschaft*. Sozialwissenschaft. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2003.
- Wolfgang Bibel et al. *Converging Technologies and the Natural, Social and Cultural World*. Report EU Commission, 2004. http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/pdf/sig4_en.pdf.
- Wolfgang Bibel. *AI and the Conquest of Complexity in Law*. AI and Law Journal, 2005.
- E. Bonabeau, M. Dorigo and G. Theraulaz. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, New York NY, 1999.
- Alfons Botthof and Joachim Pelka (eds.). *Mikrosystemtechnik – Zukunftsszenarien*. Springer, Berlin, 2003.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). *Mikrosysteme – Rahmenprogramm zur Förderung 2004–2009*. Bonn, 2004.
- Nicholas G. Carr. *Does IT matter? Information Technology and the Corrosion of Competitive Advantage*. Harvard, Cambridge MA, 2004.
- K. Chang. *Smaller Computer Chips Built Using DNA as Template*. New York Times, Nov 21, 2003. <http://www.nytimes.com/2003/11/21/science/21DNA.html?ex=1075525200&en=67948bd27029a142&ei=5070>
- Ramon Compañó, Corina Pascu, Jean-Claude Burgelman (eds.). *Key Factors Driving the Future Information Society in the European Research Area*. Synthesis report on the FISTERA Thematic Network Study, European Communities, 2004.
- M. Dorigo and Thomas Stützle. *Ant Colony Optimization*. MIT Press, Boston MA, 2004. European Commission, DG Research. *Research for Europe – 36 examples of successful EU-funded projects*. European Communities, 2004.
- K. Ducatel, M. Bogdanowicz, F. Scapolo, J. Leijten, and J.-C. Burgelman, IST Advisory Group (ISTAG). *Scenarios of Ambient Intelligence in 2010*, European Commission Community Research, 2001, <http://www.cordis.lu/ist/istag>.
- European Communities (EC). *FP6 Instruments – Implementing the priority thematic areas of the Sixth Framework Programme*. 2002.
- European Communities (EC). *The European Research Area – An internal knowledge market*. 2002a.
- European Communities (EC). *European Trend Chart on Innovation: 2002 European Innovation Scoreboard Technical Paper No.1: Member States and Associate Countries*. 2002b.
- European Communities (EC). *The Role of eGovernment for Europe's Future*. Sept. 2003. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. I. *The future of IT – now it's getting personal*. Dublin, 2003. <http://www.eurofound.eu.int> <http://www.eurofound.eu.int>
- European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. II. *Shaping the future of ICT*. Dublin, 2003. <http://www.eurofound.eu.int>

European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. III. *Policies, issues and the future of ICT*. Dublin, 2003. <http://www.eurofound.eu.int>.

European Information Technology Organisation (EITO). 2005. <http://www.eito.com>.

L. J. Fogel, A. J. Owens, M. J. Walsh. *Artificial Intelligence Through Simulated Evolution*. Wiley, New York, 1966.

I. Foster, C. Kesselman. *The Grid: Blueprint for a new computing infrastructure*. Morgan Kaufmann (2. edition), 2004.

M. Friedewald and O. Da Costa (eds). *Ambient Intelligence in Everyday Life – AmI@Life*. JRC/IPTS – ESTO Study, 2003, <http://esto.jrc.es/docs/AmIReportFinal.pdf>.

F. Glover. *Tabu search – Part I*. ORSA Journal on Computing 1, 190-206, 1989.

John L. Hennessy and David A. Patterson. *Computer Organization and Design – The Hardware/Software Interface*. Morgan Kaufmann, San Francisco, 1998.

J. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, 1975.

Holger H. Hoos and Thomas Stützle. *Stochastic Local Search: Foundations and Applications*. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2004.

Marco Iaconi et al. *Science* 303, p.1157 (2004).

IST Advisory Group (ISTAG). *Ambient Intelligence: from vision to reality*. Technical Report, European Communities, 2003.

Institute for Prospective Technological Studies (IPTS). *Future of manufacturing in Europe 2015–2020: the Challenge for Sustainability*. Futman Scenario Report, 2003.

Erika Jonietz. *Quantum Wires*. Technology Review, May 2005. <http://www.technologyreview.com>. Zachary Lemnios.

The Next DARPA Revolution: Integrated Microsystems. Proceedings DARPA 2004.

Riichiro Mizoguchi. *Tutorial on Ontological Engineering. Part 2: Ontology Development, Tools and Languages*. New Generation Computing 22:61–96, 2004.

Alfred Nordmann. *Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies*. Report, European Communities, 2004.

Daniel Oberle, Steffen Staab, Raphael Volz. *Three Dimensions of Knowledge Representation in WonderWeb*. KI 1:31–35, 2005.

Raffaella Popper. *FISTERA Delphi – First Round Results*. European Communities, 2004.

I. Rechenberg. *Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Information*. Fromman Verlag, Freiburg, Germany, 1973.

Jeremy Rifkin. *The European Dream – How Europe’s Vision of the Future Is Quietly Eclipsing the American Dream*. Jeremy P. Tarcher/Penguin, 2004.

M.C. Roco, W.S. Sims Bainbridge (eds). *Converging Technologies for Improving Human Performance, Nano-, Bio-, Info-Technology and Cognitive Science*. National Science Foundation, 2002.

Michael W. Rogers. *Issues in the Future of las TI and C.* Manuscript, 2004.

D. E. Rumelhart, J. L. McClelland et al. *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. I: Foundations.* MIT Press, Cambridge MA, 1986.

Stuart J. Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach.* Prentice Hall Series in Artificial Intelligence. Pearson Education, Upper Saddle River, N.J., 2nd edition, 2003.

Roberto Saracco et al. First Report on *Key European Technology Trajectories.* FISTERA D2.1, European Communities, 2004.

Ray Simmonds. *Science* 307, p.1299 (2005).

Push Singh. *The Open Mind Common Sense Project.* KurzweilAI.net, <http://www.kurzweilai.net/articles/art0371.html?printable=1>, 2002.

Alex Stimpson. *Europe's ICT Workforce.* Janus Briefing 6, Sept. 2004.

Takao Terano (Ed.). *Agent-based Approach to Economic and Social Complex Systems.* New Generation Computing 23(1), 2005.

Günter Verheugen. *Ohne Pause nach Lissabon - Gemeinsam Kräfte mobilisieren und Europa stärken.* Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ) 57, S.B13, 2005.

Wolfgang Wahlster. ISTAG Report on *Grand Challenges in the Evolution of the Information Society.* European Communities, 2004.

Wolfgang Wahlster and Claus Weyrich. *Forschen für die Internet-Gesellschaft: Trends, Technologien, Anwendungen - Ergebnisse einer gemeinsamen Initiative des Bundesverbands der Deutschen Industrie und der Fraunhofer-Gesellschaft.* Technischer Bericht, BDI/FhG, 2003.

Stephen Wood, Richard Jones and Alison Geidart. *The Social and Economic Challenges of Nanotechnology.* Technischer Bericht, ESRC, Economic & Social Research Council, Swindon, 2003.