

TSSI

Tecnologías y Servicios para
la Sociedad de la Información

Coordinador
José R. Casar Corredera



Consejo
Social

UPM

Universidad Politécnica de Madrid

TSSI

Tecnologías y Servicios para
la Sociedad de la Información

Coordinador
José R. Casar Corredera



Consejo
Social
UPM
Universidad Politécnica de Madrid



Consejo Social UPM

Universidad Politécnica de Madrid



Presidente

D. Adriano García-Loygorri Ruiz ⁴

Vicepresidente

D. José María Isardo Agüero ²

Consejeros

D. Enrique de Aldama y Miñón ³

D. Adolfo Cazorla Montero ⁵

Dña. Salce Elvira Gómez ²

D. Miguel Angel Fuertes Recuero ¹

D. Narciso García Santos ¹

D. Sigfrido Herráez Rodríguez ²

D. Blas Herrero Fernández ³

D. Fernando Lanzaco Bonilla ⁵

D. Vicente López-Ibor Mayor ³

D. José Luís Ripoll García ³

D. José Vicente Mata Montejo ²

D. Eugenio Morales Tomillo ⁴

D. Juan Carlos Mulero Gutiérrez ¹

D. Francisco Novela Berlín ²

D. Luis Otero Fernández ⁴

D. Juan Soto Serrano ⁴

D. Javier Uceda Antolín ⁵

Secretario

D. Jose María Bandeira Vázquez

¹ En representación de la Comunidad Universitaria.

² En representación de las Organizaciones Sociales y las Entidades Locales.

³ En representación de los intereses sociales designados entre las Fundaciones o Empresas que tienen suscritos convenios o contratos de investigación, docencia, prácticas de formación profesional o de colaboración en otras actividades de la Universidad.

⁴ En representación de los Intereses Sociales, designados por la Asamblea de la Comunidad de Madrid, entre personas de reconocido prestigio en los ámbitos científicos, culturales, artísticos o tecnológico.

⁵ Vocales Natos.

Prólogo

Con mucho gusto prologo este volumen sobre "Tecnologías y Servicios para la Sociedad de la Información" que editamos por iniciativa y con el apoyo inestimable del Consejo Social de la Universidad.

La actividad de nuestros profesores en los Departamentos e Institutos de nuestra Universidad tiene una amplia difusión en libros y revistas, además de su habitual participación en conferencias, congresos, etc. También esta actividad tiene un importante impacto económico en la Universidad y en las empresas e instituciones con las que colaboramos mediante contratos de I+D y de transferencia de tecnología.

Pero aún así, creo que nuestra realidad no es suficientemente conocida y todas las iniciativas que permitan dar a conocer mejor nuestro potencial son especialmente bienvenidas, no sólo porque mejoramos la difusión de nuestra actividad, sino porque damos a conocer nuestra capacidades a aquellos interesados en utilizarlas.

Por todo ello, recibí con satisfacción la iniciativa del Consejo Social de realizar el proyecto "Análisis de Oportunidades Multidisciplinares de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones", cuyo objetivo era identificar algunos campos tecnológicos en los que las TICs podrían facilitar la transferencia de tecnología y conocimientos disponibles en la UPM. Los resultados de este trabajo se publicaron en varios informes, compendiados en el libro "Tecnologías de la Información y las Comunicaciones: Análisis de Oportunidades Multidisciplinares en la Sociedad de la Información".

En este volumen, complemento del anterior, se revisan algunas de las tecnologías que en la actualidad o en futuro próximo podrían dar lugar a nuevos servicios o nuevos modos de utilizar otros conocimientos o tecnologías. En todas estas tecnologías la Universidad Politécnica tiene grupos de competencia y voluntad de transferir estos conocimientos a empresas y administraciones. Mediante esta obra pretendemos dar a conocer estas capacidades, pero también contribuir a difundir las posibilidades que ofrecen.

La selección de los temas elegidos es oportuna y resulta difícil cuestionar su importancia actual y su futuro potencial. Temas como localización, identificación por RF, WiMax, sistemas multiagente, Internet de nueva generación, biometría, televisión digital, interfaces habladas, etc. Me consta que las que no están, no figuran porque no se disponía de más páginas. Aún así, el conjunto seleccionado es muy amplio y adecuado a los objetivos del trabajo.

Para terminar, quiero agradecer y felicitar a todos aquellos cuyos desvelos han hecho posible que este trabajo vea la luz. En primer lugar, al Consejo Social y especialmente a los consejeros encargados del seguimiento del proyecto, a los profesores y especialistas que han participado en la redacción de sus diferentes apartados y, muy especialmente, al Profesor José Ramón Casar que lo ha dirigido con éxito. A todos ellos, muchas gracias y enhorabuena.

Javier Uceda Antolín
Rector de la U.P.M.
Madrid, enero de 2005

Presentación

El proyecto "Análisis de Oportunidades Multidisciplinares de las TIC (Oferta Tecnológica para la Sociedad de la Información)", promovido y financiado por el Consejo Social de la Universidad Politécnica de Madrid pretendía principalmente diseccionar los modelos de negocio de algunos sectores elegidos, para evaluar el valor añadido que podría aportar en ellos la integración de las TIC (en general) y si éstas podrían ayudar a redefinir ventajosamente el producto, proceso o servicio objetivo.

En ese contexto general de actividad, pronto resultó evidente que determinadas tecnologías aparecían persistente y continuamente como posibles soluciones, habilitadoras de nuevas aplicaciones o nichos tecnológicos con margen visible para la provisión de servicios de valor. Y ello de manera horizontal, para sectores tan diversos como: Agricultura, Logística, Deporte, Comercio, Turismo, Ocio, Transporte, Salud, Fabricación, Medio Ambiente, Ingeniería Civil, Inteligencia Ambiental, etc.

Esa observación (poco inesperada) sugirió al Consejo Social la iniciativa de editar un volumen con una selección de contribuciones técnico-divulgativas sobre algunas de estas tecnologías. Me encomendó ese trabajo y me dio absoluta libertad para elegir las y dimensionarlas. Ha sido una tarea bastante fácil salvo que el poco tiempo disponible me obligó a pedir a los autores su máxima colaboración, que obtuve en todos los casos; aprovecho estas líneas para agradecerse. Los autores han tenido, a su vez, libertad para enfocar el tema como creyeran más conveniente, y, por mi parte, apenas ha habido intervención editorial.

El capítulo 1 se dedica a revisar las tecnologías de localización y sus aplicaciones. Comienza introduciendo brevemente los fundamentos de los métodos de localización y luego se centra en los sistemas y servicios de localización en exteriores (prestando atención a las aplicaciones de telefonía móvil y a GPS) y en interiores (con mención expresa de soluciones comerciales disponibles). No podía faltar un capítulo sobre localización en un volumen sobre "Tecnologías y Servicios para la Sociedad de la Información". Son innumerables las aplicaciones y servicios concebidos o por concebir, que se basan en la información de posición del usuario: desde la seguridad y la atención socio-sanitaria hasta el entretenimiento y el ocio, pasando por el comercio, el turismo o la práctica deportiva.

A Ana B. Bermejo e Ignacio Arnott les pedí que resumieran en el capítulo 2 un exhaustivo informe sobre las tecnologías de identificación por radiofrecuencia, que habían preparado en el marco del Proyecto, cuyo objetivo había sido describir el estado del arte, las limitaciones y las posibilidades de aplicación de estas tecnologías en varios de los sectores estudiados. Han hecho un considerable esfuerzo de síntesis para narrar con concisión los fundamentos, los tipos de sistemas y algunas aplicaciones de esta(s) tecnología(s) multifuncional(es), que sólo esperan una reducción de costes de fabricación para su implantación ubicua.

Del análisis en la provisión de servicio de banda ancha a determinados colectivos y en determinadas zonas y del propio análisis de las deficiencias y preocupaciones de los operadores,

surgió en el equipo de trabajo un interés comprensible en el estándar 802.16 o WiMax. Su vocación interoperable, el uso de bandas no licenciadas, sus menores costes de infraestructura y su posibilidad de atender a la movilidad, como alternativa a la telefonía móvil de banda ancha le dotaban de atractivo cierto. Le pedí a L. Carlos Fernández, ingeniero de telecomunicación por la UPM con una visión amplia y realista de las tecnologías de las comunicaciones, que nos pusiera esa tecnología en contexto. El resultado (resumido) es el capítulo 3 de este volumen. El lector puede querer leer la sección 13 sobre su visión del futuro de WiMax en el mundo de las comunicaciones inalámbricas.

En el capítulo 4, los profesores Molina, García y Bernardos revisan exhaustivamente el área de los Agentes y los Sistemas Multiagente, un área notablemente horizontal, sin dejarse, a mi juicio, ningún tema importante. La Sección 1 está orientada a aquellos lectores que deseen conocer los conceptos y elementos teóricos. Las secciones 2 y 3 contienen respectivamente, áreas y ejemplos de aplicaciones: utilización como agentes de escritorio, búsqueda en internet, en comercio electrónico, producción, telecomunicación, transporte, vigilancia, robótica, juegos, medicina y salud, etc. El lector haría bien en empezar por estas secciones para hacerse una idea del enorme potencial que tienen estas tecnologías del software en la mejora del diseño de sistemas más inteligentes.

A la evolución de Internet este volumen tenía que dedicarle un capítulo (el 5), necesariamente. Para ello, nadie mejor que el profesor Quemada, Director de la Cátedra UPM para Internet de Nueva Generación, que, gustosamente aceptó resumir y adaptar su libro "Internet de Nueva Generación", cuyas sucesivas versiones, por cierto, tuve el gusto de conocer antes de su edición. El profesor Quemada, en esta contribución, revisa, con perspectiva histórica y técnica, los acontecimientos que produjeron la internet que conocemos, para anticipar qué será la internet de nueva generación: nuevos terminales, nuevo web, otro acceso y otra seguridad.

La inclusión de un capítulo sobre Sistemas de Identificación Biométrica se debe a la insistencia argumentada del profesor Portillo. La previsión de crecimiento en este área de negocio, la proliferación de empresas y la inclusión de ese área entre las prioridades de algunos programas de I+D parecen indicar que se trata de un ámbito de futuro prometedor. Si la mayor parte de las aplicaciones actuales están relacionadas con la Seguridad, no es difícil imaginar nuevas aplicaciones en Sanidad, Domótica o Inteligencia Ambiental. El capítulo 6 revisa especialmente los fundamentos y el estado de las diversas tecnologías que pueden estar presentes en los sistemas de identificación biométrica.

A unos pocos años del definitivo "apagón analógico" (el cese de las actuales emisiones analógicas de televisión), el tema de Televisión Digital va a tener en los próximos años una importancia considerable. Pero no sólo ni principalmente por el cambio de formato de transmisión, sino muy especialmente por las nuevas posibilidades de servicios y negocios que puede habilitar: el video bajo demanda, la convergencia con internet, los servicios interactivos, nuevos modos de comunicación personal, juegos, visitas virtuales, etc. La ubicuidad de los

receptores domésticos de TV darán una ventana de mercado y de oportunidad sin precedentes, si se resuelven algunos problemas tecnológicos y se destina el esfuerzo y los recursos necesarios a desarrollar contenidos de interés y calidad. A reflexionar sobre ello dedica el profesor César Sanz el capítulo 7 de este volumen.

Al profesor Ferreiros del Grupo de Tecnología del Habla de la ETSI de Telecomunicación de la UPM, le pedí que escribiera un resumen sobre el actual estado del arte de la comunicación hablada entre personas y máquinas. En el contexto de una arquitectura general, el capítulo 8 revisa brevemente los conceptos de reconocimiento del habla y del hablante, de comprensión del lenguaje natural, de gestión de diálogo y de conversión texto-habla.

Finalmente, invité al prof. Portillo y a la ingeniera Noelia Carretero a que escribieran una contribución de actualidad sobre las características y posibilidades de los terminales móviles, con especial énfasis en sus aspectos de usabilidad. El resultado es el capítulo 9 y último de este volumen. La velocidad a la que evoluciona el desarrollo de dispositivos dejará anticuado este capítulo en pocos meses, en los que veremos nuevas generaciones de smartphones, PDAs, jukeboxes, etc. Sin embargo, los principios de diseño usable, que se revisan brevemente en la sección 6, no harán sino cobrar una importancia creciente, a medida que los dispositivos avanzados dejarán de ser cosa de iniciados y se extenderán entre el gran público.

No me queda para terminar esta presentación sino agradecer a los autores de los capítulos su disposición incondicional a contribuir a la edición de este volumen, y en especial su esfuerzo por mantener un discurso divulgativo, en lo posible, en temas en lo que lo fácil y agradable, para ellos, hubiera sido adentrarse en sus vericuetos tecnológicos.

Y finalmente, pero no menos, dejo constancia ahora de mi agradecimiento enorme al Consejo Social, a su Comisión de actividades en especial, y a D. Adriano García-Loygorri, D. Juan Soto y D. José M^o Bandeira por apoyar y confiar sin reservas en esta iniciativa, de la que este librito no es más que un resultado parcial.

José R. Casar Corredera
Catedrático de la U.P.M.
Coordinador de la Edición

ENERO 2005

Índice

(4) Prólogo

Javier Uceda Antolín

Rector de la Universidad Politécnica de Madrid

(6) Presentación

José R. Casar Corredera

Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid

(12) Capítulo 1

Tecnologías de localización

Ana M. Bernardos Barbolla, Juan A. Besada Portas y José R. Casar Corredera

ETS Ingenieros de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

(46) Capítulo 2

Tecnologías de Identificación por Radiofrecuencia (RFID)

Ana B. Bermejo Nieto e Ignacio Arnott González-Tova

ETS Ingenieros de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

(74) Capítulo 3

WiMAX: Aplicaciones y Perspectivas

Luis Carlos Fernández González

Ingeniero de Telecomunicación

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

(104) Capítulo 4

Agentes y Sistemas multiagente

José M. Molina López, Jesús García Herrero y Ana M^a Bernardos Barbolla

Departamento de Informática, Univ. Carlos III de Madrid

<http://giaa.inf.uc3m.es>

Centro de Difusión de Tecnologías, Univ. Politécnica de Madrid

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

(160) Capítulo 5

Internet de nueva generación

Juan Quemada Vives
ETS Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
quemada@dit.upm.es

(180) Capítulo 6

Sistemas de identificación biométrica

Javier I. Portillo García y Ana B. Bermejo Nieto
ETS Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

(204) Capítulo 7

Televisión Digital

César Sanz Álvaro
EUIT de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
cesar@sec.upm.es

(218) Capítulo 8

Interacción hablada entre personas y máquinas

Javier Ferreiros López
ETS Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
jfl@die.upm.es

(236) Capítulo 9

Dispositivos portátiles y usabilidad

Javier I. Portillo García y Noelia Carretero de los Ángeles
ETS Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

Capítulo 1

Tecnologías de Localización: Fundamentos y Aplicaciones

Ana M. Bernardos Barbolla, Juan A. Besada Portas y José R. Casar Corredera

ETS Ingenieros de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

1. Introducción a los servicios de localización (14)
2. Métodos de localización (16)
 - 2.1. Método de identificación por celda (16)
 - 2.2. Método de ángulo de llegada (16)
 - 2.3. Método basado en la potencia de la señal recibida (17)
 - 2.4. Métodos basados en tiempo (18)
3. Localización en exteriores (19)
 - 3.1. El Sistema de Posicionamiento Global (20)
 - 3.2. Localización en redes de telefonía móvil (21)
 - 3.3. Servicios y aplicaciones basados en localización mediante redes de telefonía móvil y GPS (27)
4. Localización en interiores y espacios acotados (28)
 - 4.1. Introducción (28)
 - 4.2. Tecnologías para localización en interiores y espacios acotados (29)
 - 4.3. Servicios y aplicaciones basados en localización para interiores y espacios acotados (40)
5. Recapitulación (42)
6. Referencias (43)

1. Introducción a los servicios de localización

Los servicios basados en localización (*Location Based Services*, LBS), tal y como los entendemos hoy en día, engloban un conjunto de aplicaciones que incorporan a la información de posición otros datos relativos al entorno, con el fin de proporcionar un servicio de valor añadido al usuario. Estos servicios nacen de la convergencia de Internet, las comunicaciones inalámbricas y las tecnologías de posicionamiento, y están muy ligados a conceptos emergentes como la inteligencia ambiental o el espacio inteligente.

Durante los últimos años, diversas circunstancias han impulsado el desarrollo de los sistemas de localización. En el caso de EEUU, estas tecnologías cobraron especial interés a raíz de un mandato legislativo promulgado por la Comisión Federal de Comunicaciones (*Federal Communications Commission*, FCC). La FCC decidió, hace siete años, que en diciembre de 2005 las operadoras de telefonía tendrían que ser capaces de localizar automáticamente a cualquier persona que efectuara una llamada de emergencia con una precisión de 50 a 100 metros (1).

En Europa, las iniciativas de emergencias E-112 pretenden establecer requisitos similares. No obstante, los operadores europeos de telefonía móvil han introducido servicios basados en posicionamiento con ánimo de diferenciarse de sus competidores e incrementar sus ingresos. En España, la telefonía móvil ya es utilizada por un 87,2% de la población (CMT, 2004), lo que indica que la saturación del mercado está próxima. Los operadores de telefonía móvil, Telefónica Móviles, Vodafone y Amena, luchan ahora por aumentar sus cuotas de mercado, y sobre todo por fidelizar y rentabilizar sus ya abonados.

En este marco donde la diferenciación por servicios es clave, dicen algunos expertos que las aplicaciones de localización generarán en el futuro una parte significativa de los ingresos de las operadoras. Los primeros servicios móviles de localización aparecieron en Japón y Corea en el año 2001, y aunque bien es cierto que ninguno de los operadores consideran estos servicios especialmente relevantes en su cuenta de resultados, el interés en la creación de aplicaciones relacionadas con la posición sigue aumentando. Según *Gartner*, empresa especializada en investigación de mercado, en Estados Unidos, durante 2005, el número de usuarios de servicios basados en localización alcanzará los 42 millones, lo que supondrá un crecimiento notable tanto en volumen de clientes (150.000 en 2002) como en facturación (de 6 millones de dólares en 2002 a más de 828 millones en 2005). Por otra parte, informes actuales (Auna, 2004) indican que en España la localización ubicua y permanente es un servicio móvil muy valorado por los usuarios jóvenes, el segmento de clientes más proclive a utilizar nuevas aplicaciones.

Pero no sólo se pueden ofrecer servicios de localización mediante telefonía móvil tradicional y, consecuentemente, no necesariamente entran en el modelo de negocio de estos servicios los operadores de telefonía móvil. Como veremos en las siguientes páginas, existen otras aplicaciones, también basadas en posicionamiento, que se sirven de redes distintas y pueden utilizar otros dispositivos móviles diferentes al teléfono celular.

(1) Más información sobre requisitos de mejora del sistema E-911 en <<http://www.fcc.gov/911/enhanced>>.

Haciendo una revisión del panorama actual, se observa que la posibilidad de conocer la ubicación de un terminal móvil ya ha dado lugar a numerosos servicios de información, rastreo, selección de rutas y gestión de recursos. Algunos servicios de localización móvil que se están implementando o comercializando son:

- **Servicios por activación automática.** Se inician cuando el usuario entra en un área de cobertura determinada. Resultan adecuados para aplicaciones publicitarias o de facturación.
- **Servicios de información.** El usuario del servicio demanda información de algún tipo (establecimientos, tráfico...), que varía según su posición.
- **Seguimiento por terceros.** Contemplan tanto aplicaciones corporativas como de consumidor, donde la información de la localización es requerida por un tercero. Se pueden utilizar para gestión de flotas, búsqueda de personas, etc.
- **Asistencia al usuario.** Están diseñados para proveer al usuario de unas condiciones de red segura si éste se encuentra en dificultades. Servicios de asistencia en carretera u otros servicios de emergencia están dentro de este grupo.

En general, los procesos de localización pueden estar asistidos por red, o por el mismo terminal móvil, en caso de que éste sea capaz de calcular su posición autónomamente. Esta última fórmula, utilizada en sistemas como GPS, procura unas condiciones de privacidad muy valoradas para algunas aplicaciones.

Los servicios de localización imponen requisitos de precisión muy dispares, en función de sus objetivos. Existen aplicaciones que admiten un error de decenas de metros, y otras para las que es necesario conocer la ubicación del elemento buscado al centímetro, y en las que además se necesita una respuesta en tiempo real y un sistema de comunicación entre los mismos dispositivos que se han de localizar. Para ofrecer estos servicios existen varias técnicas que permiten conocer la posición de un terminal móvil. La precisión, el coste y la dificultad de implementación son parámetros que el prestador del servicio valora previamente antes de decidirse por una u otra opción.

Como en otras tantas soluciones tecnológicas, la integración y la interoperabilidad parece el futuro de las aplicaciones ubicuas. Un servicio transparente al usuario (tanto en términos técnicos como de facturación), que pueda ser ofrecido de forma independiente del entorno, sirviéndose de un hardware inteligente capaz de conmutar entre las diferentes redes, y apoyado en las técnicas de localización óptimas para cada lugar y aplicación, es el futuro deseable de los servicios de localización. Hacia esa dirección se avanza, cada vez existen más dispositivos que integran varios tipos de tecnologías (teléfonos móviles con infrarrojos, Wi-Fi, Bluetooth o GPS, por ejemplo), y que auguran una futura convergencia de cara al usuario final.

En esta contribución, tras repasar los principios de los métodos más comunes de localización, se describirá brevemente el proceso de localización en redes de telefonía móvil y satelitales. Dado el crecimiento exponencial de las redes inalámbricas en los últimos años, se explorarán a continuación algunas de las tecnologías aptas para llevar a cabo la localización en espacios acotados. El objetivo es hacer una revisión de las tecnologías de localización disponibles en la

actualidad, y de alguna de sus aplicaciones, así como describir con diferentes ejemplos algunas de las soluciones comerciales ofertadas hoy en día.

2. Métodos de localización

Aunque no es lo mismo determinar la posición de un barco en alta mar que encontrar un artículo en un almacén, las tecnologías que se emplean para posicionar un terminal o dispositivo objetivo utilizan métodos comunes de localización. Por lo general, los métodos de localización existentes se basan en los conceptos de identificación por celda, ángulo de llegada, potencia de señal recibida, y tiempo de propagación (en este último caso, hay una gran cantidad de variantes). Además, estos métodos son combinables entre sí, dando lugar a técnicas híbridas que mejoran la precisión o relajan los requerimientos de infraestructura.

Algunos de los métodos de localización son aptos para telefonía móvil, otros se utilizan mayoritariamente en sistemas de área local. En este apartado se refieren concisamente los más importantes.

2.1 Método de identificación por celda

En el método de localización por celda (*Cell Global Identity, Cell Identification*) o por punto de acceso (en el caso de WLAN o similar), la posición se obtiene directamente en función de la identidad de la celda o punto de acceso que da cobertura al área en el que se encuentra el terminal móvil. Es el método más inmediato, pues está disponible sin realizar ninguna inversión ni modificación en red o terminal. La precisión de este método depende del radio de la celda; en redes de telefonía móvil ésta puede variar desde decenas de metros en áreas urbanas hasta varios kilómetros en áreas rurales.

La identificación por celda es el sistema de localización más utilizado por los operadores de telefonía móvil GSM, pues es suficiente para ofrecer al usuario cierto tipo de servicios en entornos urbanos, con penetración en el mercado inmediata del 100%, puesto que la información de celda está disponible en la red de acceso. En redes de tercera generación se pretenden emplear otros mecanismos más precisos, como se verá próximamente (A-GPS, OTDOA...).

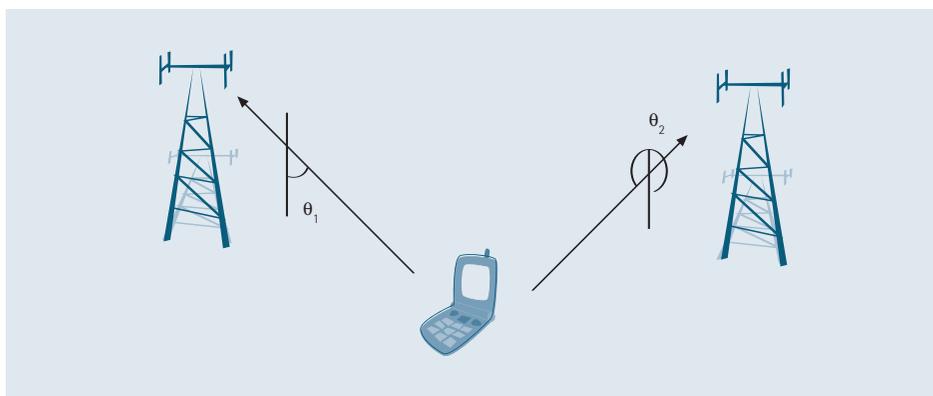
2.2 Método de ángulo de llegada

El método de ángulo de llegada (*Angle of Arrival, AOA* o *Direction of Arrival, DOA*) utiliza arrays de antenas para determinar el ángulo de la señal incidente. Si un terminal que transmite una señal está en la línea de visión directa (LOS, *Line Of Sight*), la antena en array puede conocer de qué dirección viene la señal, midiendo la diferencia de fase a través del array o la densidad espectral de potencia (mediante algoritmos de conformación digital de haz, "*digital beamforming*"). Para conocer la posición del dispositivo es necesaria al menos una segunda estimación del ángulo procedente de otra antena. La segunda antena localizará al terminal, y sus datos se compararán los de la primera estación, para después calcular la posición del usuario mediante trigonometría (*figura 1*).

En principio, sólo son necesarios dos grupos de antenas para estimar la posición del terminal móvil. Por este motivo, en el caso de la telefonía móvil, AOA puede resultar efectivo en entornos rurales, donde es complicado disponer de visión de tres estaciones base al mismo tiempo. En entornos urbanos suele ser imprescindible emplear más estaciones con el fin de obtener mayor precisión.

Los sistemas AOA deben diseñarse para tener en cuenta señales multitrayecto, aquéllas que son consecuencia de una reflexión, y que, por tanto, llegan a la antena con otro ángulo. Además, las peculiaridades del diagrama de radiación de la antena y las posibles zonas de sombra pueden complicar el proceso de medida. Por otra parte, la instalación y alineación de las antenas en array es un proceso costoso; una leve modificación en su orientación puede producir errores considerables en la estimación.

FIGURA 1. Sistema de localización por ángulo de llegada.



2.3 Método basado en la potencia de la señal recibida

Este método (*Received Signal Strength, RSS*) se basa en la pérdida de potencia que la señal sufre debido al medio de propagación (en el caso de espacio libre, la potencia de la señal decae con el cuadrado de la distancia al punto de emisión). En su versión más sencilla, el método utiliza una medida (*Received Signal Strength Indicator, RSSI*), que recoge la potencia con la que llega la señal procedente del dispositivo móvil que se desea localizar a la estación receptora (BTS, punto de acceso...). Obviamente, mediante la medición de la potencia recibida en una única estación sólo se consigue una estimación de la distancia a la que puede estar el dispositivo. Para calcular la posición es necesario realizar el mismo proceso con tres estaciones, con el fin de triangular a partir de los datos obtenidos.

La triangulación circular consiste en determinar la posición de un objeto a partir de la intersección de al menos tres circunferencias centradas en cada posición fija conocida (en este caso, estaciones o puntos de acceso), cuyo radio ha de guardar relación con el parámetro medido (en este caso, potencia recibida). La precisión de la triangulación está ligada a la precisión de cada una de las medidas realizadas. Las medidas pueden estar distorsionadas debido a la orientación de las antenas, al multitrayecto, a la atenuación por presencia de obstáculos...

Además, cuanto más alejado está el objeto que se desea localizar, mayor suele ser el error que se comete al efectuar la medida de la potencia.

Para aumentar la precisión, es necesario trabajar con modelos de propagación avanzados u observar la distribución del campo en el espacio con el fin de complementar la técnica básica. A menudo se necesita hardware adicional, como en el caso de los *monitores de radiofrecuencia* en redes WLAN, o la creación de mapas de potencia (huellas) (Araba, 2003):

- *Monitores de radiofrecuencia*: para un punto de acceso es una tarea trivial conocer el nivel de potencia recibida de un dispositivo móvil en su zona de cobertura. Sin embargo, si el punto de acceso ha de realizar medidas en celdas adyacentes (como es necesario para implementar algunas técnicas de localización), durante el proceso puede generar errores en aplicaciones de tiempo real: el punto de acceso ha de interrumpir el servicio en su celda, cambiar de canal, escuchar, medir la potencia y volver al canal de origen. Para evitar esta situación, algunos fabricantes han optado por emplear monitores de potencia dedicados exclusivamente a escuchar las señales, de tal forma que descarguen a los puntos de acceso de tener que conmutar de canal. Obviamente, el sistema supone un aumento de costes en hardware.
- *Creación de huellas de potencia*. La huella de potencia se obtiene recorriendo el emplazamiento en el que se desea localizar, y grabando las medidas de potencia en puntos definidos de una retícula (*grid*) que se superpone al espacio físico. Se construye de esta forma una base de datos con las medidas en posiciones concretas. El sistema puede mejorar notablemente la precisión de la localización, pero también la encarece y, en caso de que se produzcan variaciones en la red o en el entorno, requiere repetir el proceso.

2.4 Métodos basados en tiempo

Se revisan en este punto diversos métodos de localización basados en cálculos sobre parámetros de tiempo. Estos métodos se emplean sobre todo en redes de telefonía móvil o de posicionamiento vía satélite, debido a las mayores áreas de cobertura y distancias que manejan, aunque en general los conceptos son trasladables al ámbito de las redes locales inalámbricas, en las que es relativamente frecuente llevar a cabo la localización utilizando, por ejemplo, TOA (*Time of Arrival*) o TDOA (*Time Difference of Arrival*).

2.4.1 Método basado en el tiempo de llegada

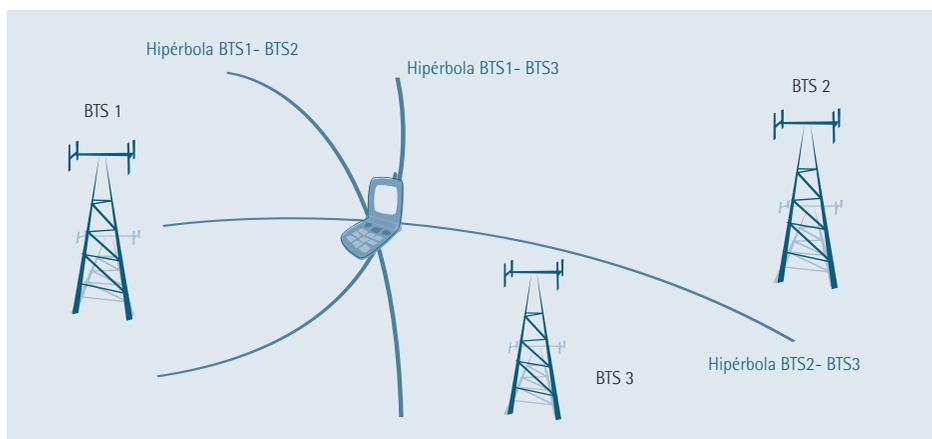
La técnica basada en el tiempo de llegada (*Time of Arrival*, TOA) utiliza la medida del tiempo de llegada de una señal transmitida por un terminal móvil a diferentes estaciones fijas, o viceversa. Para obtener una precisión aceptable mediante TOA, es necesario efectuar medidas de los tiempos al menos respecto a tres estaciones fijas. Posteriormente, dichas medidas se transmiten a un centro de localización o similar, en el que conocidos los tiempos de vuelo de las señales, se lleva a cabo un proceso de triangulación circular (con centro en las estaciones fijas se trazan circunferencias que idealmente intersecan en el punto de localización). Además, se corrigen los errores utilizando métodos matemáticos (como mínimos cuadrados).

Para que este sistema obtenga unos buenos resultados es necesaria una absoluta sincronización entre unidades móviles y fijas. El hecho de tener que distribuir y mantener en la unidad móvil la señal de reloj encarece el sistema, por lo que se suele relajar la sincronización con el consecuente deterioro de la precisión. El requisito de sincronización puede aliviarse si se emplea una medida del tiempo de ida y vuelta de la señal emitida (*round-trip-time-of-flight*). De esta forma, la unidad de medida actúa al modo de un radar secundario: un transpondedor responde a la señal de interrogación del radar. Un problema de este sistema es que es necesario conocer el tiempo de procesado de la señal en el terminal (Vossiek, 2003).

2.4.2 Método basado en la diferencia en el tiempo de llegada

La técnica basada en la diferencia en el tiempo de llegada (*Time Difference of Arrival, TDOA*) emplea la diferencia entre los tiempos de llegada de la señal procedente del terminal móvil a distintos pares de estaciones fijas para calcular la posición (o el tiempo de llegada de la señal emitida por las estaciones fijas al dispositivo móvil, en el caso de que la localización esté asistida por terminal). Puesto que la curva cuyos puntos satisfacen la condición de que su distancia a dos referencias es una constante es una hipérbola (*figura 2*), si se calcula esta correlación para varios pares de estaciones, la intersección de las hipérbolas resultantes muestra el punto donde se encuentra el terminal móvil (triangulación circular).

FIGURA 2. Sistema de localización TDOA en redes de telefonía móvil.



Al igual que en TOA, la sincronización entre estaciones es muy importante, la falta de sincronía se traduce en errores de precisión. La principal ventaja de esta técnica es que elimina la necesidad de sincronización.

3. Localización en exteriores

Quizás la tecnología de localización más convencional aplicable a áreas extensas sea el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Los terminales que lo soportan han bajado de precio

significativamente en los últimos años, por lo que su uso se ha desarrollado de forma rápida, y a día de hoy se comienza a integrar en teléfonos móviles y otros dispositivos inalámbricos para apoyar la oferta de servicios de localización.

3.1 El Sistema de Posicionamiento Global

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) permite fijar la posición de una unidad móvil próxima a la superficie terrestre mediante los datos recibidos de al menos tres de los satélites que rodean la Tierra en órbitas conocidas. En la actualidad, existe una única constelación de satélites que permite realizar este proceso: la NAVSTAR (*Navigation Satellite Timing and Ranging*), formada por 24 satélites activos más cuatro de reserva, y mantenida por el gobierno estadounidense. La Federación Rusa posee la constelación Glonass (*Global Orbiting Navigation Satellite System*), que totalmente desplegada constaría de 24 satélites en tres planos orbitales (2), con 8 satélites por plano, aunque muchos de ellos no están operativos. Por otra parte, la Agencia Espacial Europea espera tener disponible el proyecto Galileo (3) en el año 2008; esta iniciativa civil, compatible con NAVSTAR/GPS y que ha nacido con vocación comercial, proporcionará servicio gratuito de posición (latitud, longitud y altitud) con error inferior de cinco metros, mejorable en su versión de pago.

El sistema GPS está formado por tres segmentos o áreas: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento de usuario. El primero engloba los satélites del sistema, el segundo abarca las infraestructuras terrestres necesarias para el control de la constelación de satélites. Por último, el segmento de usuario está constituido por los equipos de recepción y el software de procesamiento de señales.

El fundamento de la localización con GPS es la triangulación, entendida como el cálculo de la distancia de un punto terrestre a tres o más satélites con posición perfectamente conocida (como mínimo un terminal GPS necesita recibir la señal de cuatro satélites simultáneamente para calcular la posición en tres dimensiones). Los satélites están sincronizados respecto a la señal de un reloj atómico. Con el fin de recibir las señales de los satélites GPS, la estación móvil ha de tener un módulo receptor específico (hardware y software) que sea capaz de captar señales de varios satélites, calcular su posición utilizando una marca de tiempo y la descripción del satélite recibida, y en su caso, informar a la red. La localización se lleva a cabo midiendo el tiempo que tarda en llegar la señal del satélite al dispositivo receptor, y realizando un procesamiento equivalente a TDOA.

A pesar de la buena precisión que ofrece (de 5 a 20 metros), GPS tiene el inconveniente de que la señal de satélite en ciudad se ve atenuada por los edificios. El receptor necesita una línea de vista directa a los satélites, y puede sufrir, además, un retraso relativamente largo en la recepción de las señales. La precisión es mejorada (consiguiendo un error de 2 a 5 metros) si se emplea GPS diferencial (DGPS). Este sistema utiliza para el cálculo de posición la señal de los satélites y la información proveniente de una o más estaciones de coordenadas conocidas, sin

(2) Para más información, consultar: <<http://www.glonass-center.ru>>.

(3) Para más información, consultar: <http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index.htm>.

incrementar la sensibilidad del receptor GPS. El concepto de GPS diferencial se extiende al sistema GPS apto para telefonía móvil celular, conocido como GPS asistido, que se comentará en el siguiente apartado.

En ocasiones, GPS se emplea en combinación con otras técnicas con el fin de aumentar su precisión y de permitir el despliegue de sistemas funcionales en interiores. Una solución peculiar es la que concebida para posicionar un terminal mediante GPS y las señales de sincronización de televisión, empleando la infraestructura de TV desplegada. Según sus desarrolladores, GPS opera eficientemente en áreas rurales, mientras que la tecnología de posicionamiento mediante TV resulta "eficaz" en emplazamientos urbanos (las señales de TV están concentradas en estas áreas y pueden penetrar fácilmente en los edificios), por lo que la sinergia entre los dos sistemas da lugar a una solución integrada que unifica las técnicas de localización (Rabinowitz et al. 2003). Las señales que se emplean para determinar la posición mediante el sistema de TV son de alta potencia y gran ancho de banda, y están transmitidas por estaciones de televisión analógica o digital. Los resultados obtenidos dependen de factores como la cobertura de las estaciones de televisión, los diferentes niveles de atenuación y el multitrayecto sufrido por la señal (4).

3.2 Localización en redes de telefonía móvil

Todos los métodos que se han descrito en el *apartado 2* se pueden implementar o adaptar a redes de telefonía móvil celular. Algunos son directamente configurables, otros necesitan que se efectúen modificaciones en la red o también requieren ampliación de funcionalidades en el terminal de usuario.

La información sobre localización siempre ha estado presente en redes celulares GSM (5), ya que es necesaria para el establecimiento y mantenimiento de una comunicación (el sistema necesita saber en qué célula se encuentra el terminal), pero inicialmente no era accesible fuera de los nodos de red; en la actualidad, se han introducido los elementos necesarios para que sí lo sea. Por otra parte, en UMTS es ya un elemento integrante de la red de acceso radio, y el núcleo de red incluye todo lo necesario para que se pueda conocer la posición tanto interna como externamente, a pesar de que existen algunos inconvenientes.

Las operadoras de telefonía móvil suelen utilizar una combinación o variación de uno o más sistemas de localización, dependiendo de la aplicación que se prevea ofertar. De esta manera, las técnicas más populares quedan agrupadas como se muestra en el *cuadro 1*.

(4) Comercialmente, las empresas Trimble y Rosum están desarrollando este sistema conjunto de GPS y localización basado en TV. En la actualidad, Rosum está implementando un sistema de posicionamiento para recintos cerrados, que se sirve de pseudo transmisores de señal de TV destinados a cubrir el área en el que se desea localizar.

(5) En (Aranda et al., 2001) se puede consultar una descripción de la estructura de red GSM involucrada en la localización.

CUADRO 1. *Técnicas de localización mediante redes de telefonía móvil y satélite.*

- **Técnicas basadas en la identidad celular:**
 - Identidad Celular Global (*Cell Global Identity, CGI*),
 - Identidad Celular Perfeccionada (*Enhanced Cell-ID, TA*).
- **Técnicas basadas en red:**
 - Ángulo de llegada (*Angle of Arrival, AOA*),
 - Tiempo de llegada (*Time of Arrival, TOA*),
 - Diferencia en el tiempo de llegada (*Time Difference of Arrival, TDOA*)
 - Huella multitrayecto (*Multipath Fingerprint, MF*)
- **Técnicas basadas en terminal móvil:**
 - Diferencia en el tiempo de llegada con terminal modificado (*TOA*),
 - Diferencia en el tiempo de llegada perfeccionada (*Enhanced Observed Time Difference, E-OTD o TDOA con terminal modificado*)
 - Triangulación avanzada de enlace hacia delante (*Advanced Forward Link Trilateration, A-FLT*),
 - Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System, GPS*)
 - Sistema de Posicionamiento Global Avanzado (*Advanced Global Positioning System, A-GPS*)
- **Técnicas híbridas:**
 - TDOA y RSS
 - TDOA y AOA
 - A-FLT y A-GPS
 - E-OTD y A-GPS

Las operadoras de telefonía móvil en Europa están ofreciendo servicios basados en localización mayoritariamente mediante técnicas de identificación celular (*Cell-ID* o *Enhanced Cell-ID*). E-OTD no parece tener por el momento mucha aceptación, y A-GPS puede conseguirla si los terminales bajan de precio (A-GPS se está utilizando en Japón para servicios comerciales y de emergencias). TOA y AOA también se emplean en el GSM europeo (Djuknic, 2002). En EEUU se maneja A-GPS, A-FLT y O-TDOA para CDMA, y E-OTD, TOA, AOA y A-GPS para GSM, con el fin de cumplir con la regulación de la FCC E-911.

Seguidamente se comentan diversas peculiaridades de la implementación de algunas de estas técnicas.

3.2.1 Técnicas basadas en la identidad celular

La identificación por celda es el sistema que en la actualidad más emplean las operadoras de telefonía móvil. Para aumentar las prestaciones de la técnica, existe un método mejorado basado en identificación celular (*Enhanced Cell-ID*), que sirve para ubicar todo tipo de dispositivos

móviles en redes GSM, GPRS, UMTS y CDMA. Este método utiliza el parámetro de avance temporal (*timing advance* – TA).

El parámetro de avance temporal habitualmente se emplea para alinear la recepción de las tramas con el fin de evitar colisiones en las estaciones base (BTS). El parámetro es una señal estimada por la BTS cuando el terminal accede por el canal de control de acceso aleatorio (*Random Access Channel* – $RACH$). Está formado por 6 bits, por lo que permite compensar un retardo de hasta unos 233 μ s, proporcionando un rango de medidas de 35 kilómetros. Mediante el parámetro TA se indica al terminal móvil el tiempo de antelación respecto al reloj de trama con que el que debe realizar la transmisión. El terminal inicia entonces su transmisión en el instante $T_0 - TA$, siendo T_0 el instante básico teórico. La medición se lleva a cabo observando el retardo de acceso entre el principio de un intervalo de tiempo y la llegada de las ráfagas del terminal móvil. El centro del servicio de localización de móviles (*Serving Mobile Location Center* – $SMLC$) calcula la posición a partir de la celda en la que se encuentra el terminal móvil, y del parámetro TA .

3.2.2 Técnicas basadas en red

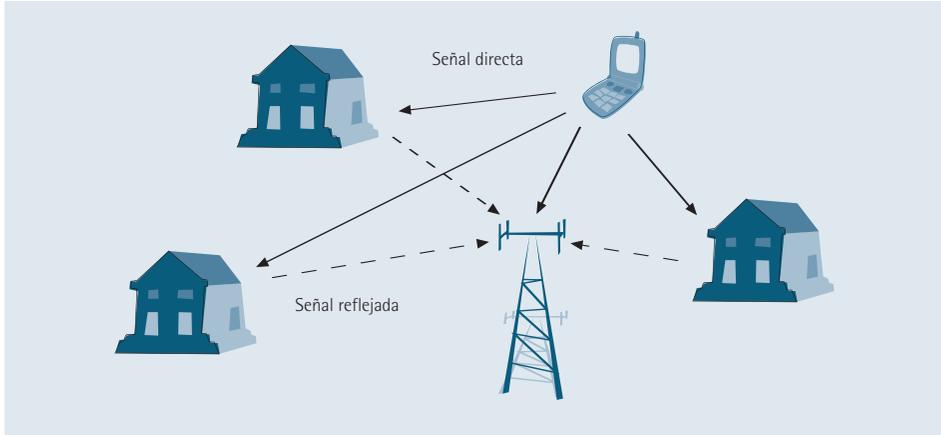
TOA y TDOA

TOA es un método que es costoso en su implementación en redes móviles, porque requiere el despliegue de numerosas unidades de medida (LMUs), que actúan como si fueran móviles ficticios. Por otra parte, la técnica TDOA se implementa en redes de telefonía móvil como se ha descrito en el *apartado 2*, teniendo en cuenta que en entornos en los que se puede producir multitrayecto (áreas urbanas), a veces es necesario efectuar las medidas respecto a cuatro BTS para compensar los efectos de las reflexiones. El $SMLC$ gestiona las peticiones de localización, y en función de la precisión indica las unidades de medida que deben ser incluidas en la localización. En entornos rurales, TDOA se puede combinar con la AOA para proporcionar mayor precisión.

Huella multitrayecto

Dentro de las técnicas basadas en modificaciones de red está la huella multitrayecto (*Multipath Fingerprint*, MF). MF aprovecha una de las perturbaciones más molestas a la hora de localizar un terminal móvil: las señales multitrayecto. La huella multitrayecto (*figura 3*) caracteriza las señales que llegan desde diferentes localizaciones. Para ello, el operador debe enviar unidades de prueba a distintos lugares, con el fin de que las estaciones base graben las huellas multitrayecto y creen una base de datos para efectuar comparaciones. La precisión depende del número de datos grabados en una determinada zona. El mayor inconveniente de este método es que, ante la variación del entorno (por ejemplo, ante la construcción de un nuevo edificio), la huella multitrayecto también cambiará y tendrá que ser regrabada.

FIGURA 3. Sistema de localización por "huella multitrayecto". La suma de todas las señales reflejadas crea una señal "huella" que se almacena en una base de datos.



3.2.3 Técnicas basadas en terminal móvil

Método mejorado de la diferencia de tiempo de llegada

El método mejorado de la diferencia de tiempo de llegada (*Enhanced Observed Time Difference*, E-OTD) opera sobre redes GSM y GPRS, e incluye nueva tecnología tanto en el terminal móvil como en la red. Siendo la solución de red similar a la utilizada en TDOA, en E-OTD el terminal mide la diferencia de tiempo de llegada de las ráfagas de pares cercanos de estaciones fijas.

Existen dos métodos para calcular la posición, uno basado en la triangulación hiperbólica, y otro en triangulación circular (6). En el método hiperbólico, si las estaciones base no están sincronizadas, la red debe evaluar el desfase entre ellas para poder estimar las diferencias de tiempo reales en la transmisión de las señales (*Real Time Differences* – RTD (7)). La posición del terminal móvil se obtiene mediante triangulación a partir de las coordenadas de las estaciones base, el tiempo de llegada al móvil de las ráfagas de cada BTS (*Observed Time Difference* – OTD (8)) y las diferencias de tiempo entre las BTSs (RTD). Las diferencias temporales de llegada de la señal se combinan para producir líneas hiperbólicas que se intersecan en el lugar donde está el móvil, ofreciendo de esta manera localización en dos dimensiones mediante el cálculo de la diferencia de tiempos geométrica (*Geometric Time Difference* - GTD (9)). Con el fin de obtener un resultado preciso, se necesitan medidas de OTD y RTD de tres pares de estaciones base.

(6) Ambos métodos se describen con detalle en (Telefónica, 2000): Evolución y Nuevas Aplicaciones de Localización de Terminales GSM.

(7) RTD es la diferencia relativa de sincronización entre dos estaciones base: si una BTS emite en T1 y la siguiente en T2, $RTD=T2-T1$.

(8) Si el terminal móvil recibe la señal de una BTS en T1 y la de otra en T2, $OTD=T2-T1$ (medida en el terminal móvil).

(9) $OTD=RTD+GTD$.

Para utilizar el método circular, las redes asíncronas (como las redes GSM) necesitan el apoyo de unidades de medida de posición (LMUs) a modo de balizas de referencia en puntos dispersos geográficamente. La densidad de unidades de medida de posición determinará la precisión del sistema. Normalmente, es necesario instalar en toda la red una LMU por cada una o dos estaciones. Estos receptores y los terminales móviles habilitados con software E-OTD realizan medidas de las señales procedentes de tres o más estaciones de referencia periódicamente.

El cálculo de la posición puede estar asistido por red, si el terminal móvil mide la señal de OTD y la red le proporciona la información de las coordenadas de las BTS y valores RTD, o asistido por el terminal, en cuyo caso es el terminal el que mide la OTD y envía la medida a la red que calcula la ubicación. El resultado es una zona de incertidumbre donde con alta probabilidad se encuentra el terminal.

A-FLT y E-FLT

La técnica A-FLT (*Advanced Forward Link Trilateration*) se emplea exclusivamente en redes CDMA, síncronas en operación. El método es muy similar al TDOA: consiste en efectuar la medida del retardo de fase entre señales enviadas a un par de estaciones base, y compararla con la medida de otro par. Los datos procedentes de tres estaciones base permiten localizar un terminal móvil. También existe otra técnica mejorada con los mismos fundamentos que A-FLT, E-FLT (*Enhanced Forward Link Trilateration*), la cual implica modificaciones tanto en la red como en la estación base.

GPS Asistido

La integración de un módulo GPS en un teléfono móvil hace que éste aumente su tamaño y peso, y lo encarece debido a los componentes incluidos y al mayor consumo, aunque la tecnología de receptor GPS se ha abaratado en los últimos tiempos. A pesar de su falta de precisión en algunos entornos, GPS puede mejorar sus prestaciones en redes de telefonía móvil, mediante un sistema de GPS asistido (A-GPS).

Los principales componentes del A-GPS son un terminal móvil con un receptor GPS; un servidor A-GPS con un receptor GPS de referencia o un servicio de GPS diferencial (si el sistema no es DGPS, A-GPS lo pseudoimplementa utilizando una estación de referencia); y la estructura típica de una red de telefonía móvil (BTSs, MSCs...). Los receptores de referencia recogen información de navegación y datos de corrección diferencial para los satélites GPS que están en la zona de cobertura del servidor de localización. En el caso de DGPS, las estaciones de referencia transmiten las correcciones que calculan constantemente comparando su posición obtenida mediante los satélites con sus coordenadas reales.

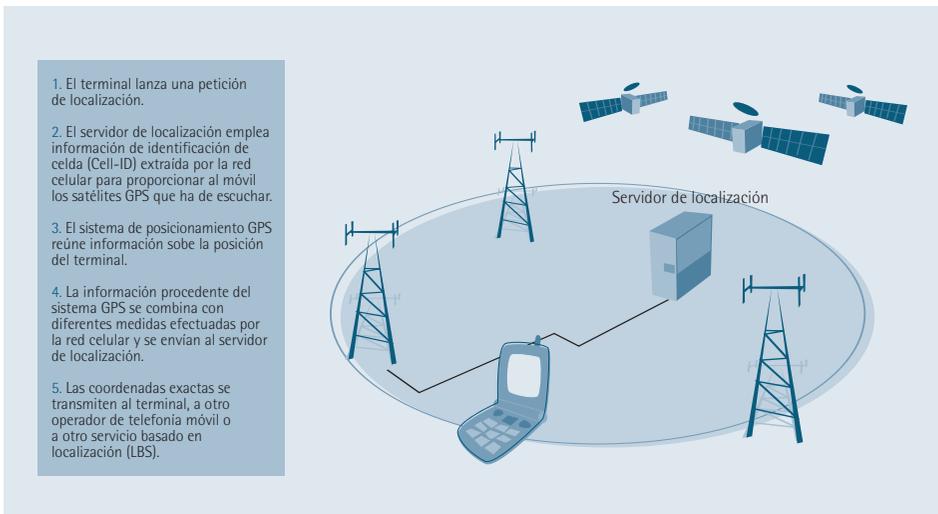
A partir de la información obtenida, el servidor de localización facilita bajo demanda datos de interés a los terminales móviles, principalmente una lista con las efemérides de los satélites (órbitas recalculadas con los datos de corrección suministrados por las estaciones de tierra) visibles para el terminal. Los datos, que se introducen en un pequeño mensaje de unos 50 bytes, son todo lo que el móvil necesita saber para completar los datos GPS recibidos. El servidor de

localización puede también tener acceso a una base de datos de elevaciones del terreno que permite precisar la altitud a la que se encuentra el terminal móvil, efectuando de esta manera una localización en tres dimensiones.

En la *figura 4* se puede observar el proceso de localización mediante GPS asistido efectuado por un sistema comercial. Se trata de una solución híbrida que combina GPS con identificación celular. A-GPS también se utiliza con E-OTD y con A-FLT en caso de redes CDMA.

El GPS asistido es, por tanto, aplicable tanto a redes síncronas como a redes asíncronas (es soportado por GSM, GPRS, UMTS y CDMA). Pero incluso con esta mejora, los sistemas GPS siguen teniendo el problema del bloqueo de la línea de vista directa (*shadowing*) por obstáculos como edificios. Además, tanto el GPS convencional como el A-GPS necesitan que los usuarios adquieran terminales compatibles, lo que significa que si las operadoras adoptan este sistema (las operadoras coreanas y japonesas ya lo han hecho, y en consecuencia se han vendido muchos teléfonos móviles de este tipo) se tardará algún tiempo en crear una masa crítica de potenciales consumidores. Algunos expertos consideran que a largo plazo, A-GPS se impondrá.

FIGURA 4. Sistema de localización comercial mediante A-GPS y Cell ID.



Fuente: SnapTrack (<http://www.snaptrack.com>).

Hasta este momento hemos efectuado una revisión de las técnicas más importantes disponibles para localización en redes móviles. Entre los sistemas recomendados por el 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) para localizar los terminales de tercera generación, se encuentran los siguientes: la diferencia observada en el tiempo de llegada (*Observed Time Difference of Arrival - OTDOA*), el tiempo de llegada (TOA) y el GPS asistido. La técnica de OTDOA es una evolución de la comentada E-OTD, pues esta última no es válida para redes WCDMA (como UMTS). En la *tabla 1* se muestra una comparativa de diferentes aspectos de las técnicas E-OTD y A-GPS.

	E-OTD	A-GPS
Precisión (m)	50 -150	10 -50
Dimensiones de la posición	2 (latitud y longitud)	3 (latitud, longitud y altura)
Tiempo de respuesta (seg)	5	5-10
Impacto sobre la red	Grande	Medio-Bajo
Roaming	Medio	Alto
Precisión en interiores	Buena	Mala

Existen también técnicas "híbridas", las cuales resultan de combinar algunas de las anteriores. Estas técnicas mejoran la precisión sin modificar notablemente las características de coste y complejidad. Así, es posible implementar un sistema híbrido que adopte la estimación mediante AOA para cada estación base y las estimaciones TDOA para estaciones múltiples. Es frecuente, asimismo, la combinación de E-OTD con A-GPS. También resulta viable una combinación de AOA y TOA, procedimiento que determina la posición con una única estación base.

3.3 Servicios y aplicaciones basados en localización mediante redes de telefonía móvil y GPS

Los sistemas de posicionamiento global se aplican en la navegación terrestre, marítima y aérea. El mercado donde el GPS ha conseguido mayor penetración es en la navegación terrestre, donde existen sistemas de seguimiento automático, gestión de flotas y administración de servicios mediante automóviles (policía, ambulancias) que integran el sistema GPS para proporcionar un servicio de posicionamiento y guiado.

El ámbito deportivo es otro campo donde el GPS genera notable interés. En las grandes pruebas de ciclismo profesional ya se utiliza habitualmente para conocer en cada instante, y en tiempo real, el tiempo de ventaja de un corredor sobre otro o la pendiente de la rampa de un puerto. Por otro lado, también se emplean receptores personales en otras actividades deportivas de ocio, como la caza, el esquí, el montañismo o, en general, cualquier actividad que requiera conocer la posición, ruta, dirección de movimiento o incluso velocidad del usuario.

Otros usos incluyen aplicaciones científicas en trabajos de campo, operaciones de salvamento, aplicaciones de navegación para invidentes, aplicaciones de guiado y localización agrícola (agricultura de precisión).

En cuanto a los servicios de localización basados en telefonía móvil que proporcionan las operadoras en la actualidad, éstos permiten que un usuario conozca su posición o la ubicación de otra persona que haya autorizado su localización. Sobre todo ofrecen recepción de alertas o información bajo demanda, relativa a la posición del cliente, sobre eventos de ocio y cultura, tráfico, niveles de polen, transporte, establecimientos especializados (gasolineras, inmobiliarias, restaurantes, centros de salud...).

En general, los operadores se centran en la disponibilidad de la localización más que en la precisión de la tecnología. La implementación de sistemas precisos de localización se hará en la medida en que el mercado lo reclame.

4. Localización en interiores y espacios acotados

4.1 Introducción

A pesar de las limitaciones e inconvenientes de las técnicas de localización en exteriores, éstas son suficientes para ofrecer numerosos servicios al usuario final. En este apartado se estudiará especialmente la localización en espacios cerrados, lugares donde la mayoría de las técnicas para telefonía móvil o GPS pierden su precisión debido a obstáculos como paredes y techos, y donde el error de los sistemas estudiados para redes celulares móviles tradicionales es demasiado grande para satisfacer los requerimientos de muchas aplicaciones. Por otra parte, existen aplicaciones que se desean implementar al aire libre, pero en espacios acotados. Para éstas también son útiles algunas de las tecnologías que se comentarán a continuación.

En general, un sistema de localización en interiores o espacios acotados básico consiste en un conjunto de estaciones fijas y una serie de etiquetas o dispositivos inalámbricos asociados a las personas u objetos que se desean seguir. A la hora de elegir entre las diferentes opciones disponibles para localización en interiores, es necesario considerar qué características técnicas ha de satisfacer el sistema. La disponibilidad, la precisión, la latencia, la respuesta en tiempo real o la capacidad de comunicación son algunos de los factores que es necesario tener en cuenta (Weissman, 2004; Steggle, 2004):

- La *disponibilidad*: es la probabilidad de que el sistema, ante una petición de localización, consiga una señal suficientemente buena para cumplir sus objetivos.
- La *precisión*: en términos probabilísticos, suele definirse como el valor que indica cuando el 90% de las etiquetas o dispositivos son localizados con un error menor que la precisión nominal del sistema. Los requisitos de precisión pueden variar significativamente (de pocos centímetros a varios metros) en función de la aplicación que se trate de implementar.
- La *latencia*: es el tiempo que pasa desde que una etiqueta o dispositivo se mueve en la realidad hasta que el sistema conoce dicho movimiento y lo representa en la interfaz implementada para la aplicación.
- La *respuesta en tiempo real*: es la medida del tiempo mínimo que ha de pasar entre que se efectúa una lectura de la posición y la siguiente. Según aumenta la precisión, también lo hace la necesidad de elevar la frecuencia de actualización. Ya que con el aumento de la tasa de muestreo el consumo suele incrementarse, lo más adecuado sería disponer de la posibilidad de adaptar la frecuencia de interrogación del dispositivo a las necesidades de la aplicación dinámicamente.

- La *capacidad de comunicación*: la comunicación entre dispositivo y sistema de localización puede ser unidireccional o bidireccional. En ocasiones, la etiqueta deberá ser capaz de enviar información al sistema, y éste tendrá que emitir en búsqueda de un determinado dispositivo utilizando técnicas de "*paging* (10)".

También el tamaño, la forma y la duración de la batería de etiquetas o dispositivos son requisitos dependientes del tipo de aplicación. El *intervalo de recarga* es el tiempo que tarda una etiqueta o dispositivo totalmente cargado en descargarse. Un intervalo de recarga grande es necesario para algunas aplicaciones de seguimiento de objetos o de gestión de almacén.

Otros aspectos relevantes en este tipo de sistemas son la modularidad del servicio y las posibilidades de soportar otras aplicaciones sobre la misma red (como telemetría, voz, control remoto, etc.); la capacidad del sistema de localizar diferentes tipos de etiquetas o dispositivos inalámbricos (lo que favorece la no dependencia de un único proveedor), y asimismo, la escalabilidad y la adaptabilidad del sistema a posibles cambios estructurales.

Además, factores económicos como el coste del hardware (servidores, antenas, etiquetas, dispositivos...), los gastos de infraestructura y los gastos directos e indirectos de instalación y mantenimiento también pueden determinar la inclinación hacia una u otra solución tecnológica.

En la actualidad, existen varias tecnologías que se utilizan para localización en interiores satisfactoriamente. Las que comentaremos a continuación son RFID, Bluetooth, Wi-Fi (estándar 802.11b), y la denominada Banda Ultra-Ancha (*Ultrawideband*). No obstante, la localización se puede conseguir, asimismo, mediante sistemas tradicionales de radiofrecuencia, infrarrojos o ultrasonidos. En un futuro, otras tecnologías inalámbricas pendientes de estandarización (como Wimax), podrán también ofrecer funcionalidades de localización.

4.2 Tecnologías para localización en interiores y espacios acotados

Se revisarán en este apartado las prestaciones de algunas de las tecnologías mencionadas anteriormente. Se repasarán Wi-Fi, Bluetooth, UWB y RFID, y se comentará, siempre a título de ejemplo, alguna solución comercial disponible en la actualidad. Por supuesto, quedan pendientes otras posibilidades tecnológicas y aproximaciones híbridas que también consiguen localizar con diferentes precisiones (infrarrojos, UHF...).

4.2.1 IEEE 802.11

Hoy en día, las tecnologías para red de área local (LAN) inalámbrica están experimentando un *boom* de implantación. Numerosos proveedores de redes *wireless* están instalando sus sistemas en hoteles, cafés, aeropuertos y otros edificios en los que se considera puede resultar rentable

(10) Proceso mediante el cual se envía un mensaje a través de una red con el fin de establecer contacto con un sistema radio remoto.

una oferta de acceso a Internet de alta velocidad. Estas nuevas infraestructuras también soportan localización de dispositivos móviles, por lo que las aplicaciones basadas en la posición para entornos de área local resultan viables.

Las redes inalámbricas de área local cubren zonas de hasta 75 metros en el interior de edificios, y de 300 metros en el exterior, ampliables a varios kilómetros. Están implementadas en un grupo de estándares (*tabla 2*), conocido como IEEE 802.11, que comprende varias modalidades, cada una de ellas con unas características de ancho de banda y alcance determinadas. La modalidad más popular es la que se conoce como 802.11b, introducida en 1997. Opera a una frecuencia de 2,4GHz, y su índice de transferencia de datos es de 11Mbps. Esta tasa se ve ampliamente superada por el estándar 802.11a, que llega a ofrecer 55Mbps en una frecuencia de funcionamiento de 5GHz. El problema es que dicha parte del espectro no está disponible en países como España, Italia, Portugal o Alemania, pues es de uso restringido militar.

1.2. ESTÁNDARES DE WIRELESS LAN

Estándar	Velocidad máxima	Interfaz de aire	Ancho de banda de canal	Frecuencia
802.11b	11 Mbps	DSSS	25 MHz	2.4 GHz
802.11a	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz
802.11g	54 Mbps	OFDM/DSSS	25 MHz	2.4 GHz
HomeRF2	10 Mbps	FHSS	5 MHz	2.4 GHz
HiperLAN2	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum

La localización mediante redes locales inalámbricas puede llevarse a cabo de diferentes maneras. La más sencilla es la basada únicamente en el punto de acceso más cercano al terminal (localización por celda). Este método no es a menudo preciso en localización 3D: por ejemplo, puede confundir la planta del edificio, pues es fácil que la antena más cercana a un usuario ubicado en una determinada planta sea la misma que la correspondiente a un usuario situado en una planta superior, si la posición sobre el piso es similar. Por otra parte la señal es vulnerable debido a las interferencias, lo que puede afectar, además de a la precisión, a la seguridad de la comunicación.

Siemens posee un sistema que denomina de posicionamiento celular neuronal (*Neural Cellular Positioning System, NCPS*). Cada dispositivo móvil WLAN mide regularmente la potencia recibida desde su punto de acceso, e inicia un traspaso cuando ésta cae por debajo de un umbral determinado. En el proceso, el terminal móvil transmite al sistema de posicionamiento el nivel de potencia recibido con el identificador del punto de acceso. El problema, como siempre, es la distribución irregular del campo. Sus efectos se intentan paliar mediante métodos de aprendizaje de redes neuronales, que se basan en el almacenamiento de la distribución de potencia creada a partir de medidas de potencia recibida desde posiciones conocidas. La precisión que consigue el sistema es 5 a 15 metros, y su tasa de refresco, de 2 a 5 segundos (Vossiek, 2003).

Otra implementación del sistema de potencia de la señal recibida es la realizada por Ekahau (11), compañía que comercializa un motor de posicionamiento basado en el almacenamiento de medida de potencia de señal en diferentes puntos del recinto cubierto. La técnica, conocida como *Wi-Fi mapping*, ofrece, según su fabricante, una precisión de hasta un metro si procesa medidas de cuatro o más puntos de acceso Wi-Fi. Además, este sistema es sensible a los cambios de altura, es decir, reconoce fácilmente la planta del edificio en la que está el usuario. El proceso de entrenamiento del motor de posicionamiento Ekahau se muestra en el *cuadro 2*. Ekahau afirma que su tecnología es compatible y puede ser adaptada a HiperLAN2 (estándar europeo de ETSI que compite con 802.11a), WLAN, Bluetooth, GSM, GPRS y UMTS. Además soporta sistemas de posicionamiento híbridos que utilizan varias fuentes de información de posición (p.e. WLAN, A-GPS, RFID...).

CUADRO 2. *Proceso de entrenamiento del motor de Ekahau.*

1. **Creación de un modelo de posicionamiento:** consiste en dibujar sobre un plano del área a cubrir los puntos donde se deben tomar las medidas. Existe una herramienta de apoyo que facilita la realización de esta fase.
2. **Calibración del modelo de posicionamiento:** se trata de recorrer el área elegida grabando muestras de la potencia de la señal en cada punto marcado en el apartado anterior. No se necesita información acerca de la localización de los puntos de acceso.
3. **Comienzo del seguimiento de dispositivos:** mediante un gestor que ofrece la misma compañía se procede a controlar la posición de los dispositivos móviles.
4. **Análisis de la precisión:** es posible grabar algunos datos más de prueba y analizar visualmente los vectores de error de posición y las estadísticas para encontrar áreas donde se necesitan puntos adicionales de acceso o más muestras de calibrado.

La empresa AeroScout (12) también dispone de un sistema de localización capaz de posicionar dispositivos IEEE 802.11b/g. Al igual que Ekahau, ofrece sus propias etiquetas Wi-Fi, pero al contrario que el sistema anterior, requiere de infraestructura Wi-Fi propietaria (puntos de localización). El sistema utiliza principalmente TDOA para posicionar las etiquetas y dispositivos, aunque se apoya también en otras medidas.

(11) Más información en: <<http://www.ekahau.com>>.

(12) Más información en: <<http://www.aeroscout.com>>.

T3. ALGUNAS ESPECIFICACIONES DE SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN COMERCIALES. INFORMACIÓN COMERCIAL ORIENTATIVA

	Ekahau	Aeroscout
Precisión	1-3 m. (2-3 m. típico)	1-5 m. (3-4 m. típico)
Latencia	Algunos segundos, en función de la precisión	
Respuesta en tiempo real	200 dispositivos/seg.	300 dispositivos/seg.
Tamaño etiqueta	65 x 65 x 27 mm	62 x 40 x 17 mm
Duración máxima batería	5 años (transmisión cada 4 horas)	4 años (transmisión cada 5min.)
Cobertura	Interiores: 30 metros	Interiores: 80 metros
	Exteriores: 150 metros	Exteriores: 200 metros
Precio etiqueta (enero 2004)	90€/55€, en función de cantidad	\$85

PanGo Networks (13) y Airspace (14) son otros ejemplos de empresas que disponen de productos basados en localización mediante redes Wi-Fi. Las soluciones que ofertan todas estas compañías están relacionadas con el seguimiento de objetos y personas en almacenes, hospitales, comercio minorista, automoción, control en empresa, aeropuertos... La filosofía de servicio es común a la de Bluetooth, como se verá a continuación, simplemente varía la tecnología sobre la que se implementa.

En el ámbito del patrimonio y el turismo, se han puesto en funcionamiento redes de este tipo de forma experimental en museos (Metropolitan Museum de Nueva York, Tate Modern Museum de Londres...), excavaciones arqueológicas (Atapuerca, en combinación con Bluetooth), hoteles (Hotel Royal Sonesta de Boston) y parques temáticos (Disney World, Legoland en Dinamarca).

Una iniciativa que pone a disposición del público un sistema de localización *open source* es Place Lab; esta experiencia, desarrollada por Intel Research en colaboración con varias universidades, a costa de sacrificar la precisión, aumenta el área de cobertura y la disponibilidad del servicio (las pruebas en diferentes escenarios urbanos alcanzan una disponibilidad de prácticamente el 100% con una precisión media de 20 metros). La peculiaridad de este sistema es que no necesita un despliegue de infraestructura hardware específico: propone utilizar las transmisiones de puntos de acceso 802.11, dispositivos Bluetooth fijos o estaciones base GSM para formar una red de balizas que se almacena en una base de datos que el cliente tiene accesible. Mediante estos datos y la observación de las emisiones radio, los clientes Place Lab, que deben haber instalado el software adecuado al dispositivo inalámbrico, pueden estimar su posición (LaMarca et al., 2004).

4.2.2 Bluetooth

Bluetooth es una tecnología diseñada para ofrecer conectividad a redes personales mediante dispositivos móviles, de forma económica. Esta tecnología está respaldada por grandes fabricantes de dispositivos (Agere, Ericsson, IBM, Intel, Microsoft, Motorola, Nokia, Toshiba...), que conforman desde 1999 el *Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG)*, grupo

(13) Más información en: <<http://www.pangonetworks.com>>.

(14) Más información en: <<http://www.airspace.com>>.

destinado a realizar las especificaciones industriales Bluetooth. El IEEE también desarrolla sus propios estándares para WPAN (*Wireless Personal Area Network*), bajo el estándar 802.15, que en su primera versión aceptó en gran medida las especificaciones de Bluetooth.

Bluetooth permite conectar múltiples aparatos que dispongan de la tecnología (ordenadores portátiles, PDAs, teléfonos móviles, etc.), formando *piconets* (en una piconet, un dispositivo actúa como maestro y los otros como esclavos), y posibilita la conexión a una LAN o WAN a través de un punto de acceso. Opera en un rango de frecuencias abierto, la conocida banda ISM (disponible para aplicaciones industriales, científicas y médicas), entre 2,402 y 2,480 GHz. Consigue un canal de comunicación de datos asimétrico de 721 kb/s en transmisión y 57,6 kb/s en recepción, o en el caso de una comunicación simétrica, la tasa de transferencia es de 432,6 kb/s para cada canal. El radio de acción es de 10 metros, ampliable hasta 100 metros por medio de repetidores. Además, y debido a su concepción de tecnología móvil y económica, tiene un consumo de energía relativamente bajo. Para transmitir a una distancia de 10 metros emplea 1mW de potencia, mientras que para llegar a los 100 metros utiliza 100mW. En la actualidad, el Bluetooth SIG proporciona un sistema de aumento de velocidad y disminución de potencia (*Bluetooth Enhanced Data Rate*) que, según sus desarrolladores, permite triplicar la velocidad de las conexiones (15).

Hoy en día, para redes inalámbricas se ofertan tecnologías en general basadas en los estándares IEEE 802.11, que ofrecen mayor ancho de banda y radio de conectividad que Bluetooth. En principio, el propósito de ambas tecnologías es diferente, Bluetooth está concebida como medio de comunicación en aparatos con restricciones de potencia y tamaño (teléfonos móviles, cámaras, PDAs, auriculares, micrófonos...), y las tecnologías 802.11 permiten la configuración de redes sin cables con mayores tasas de transferencia y soporte para mayor número de conexiones.

La gran ventaja de la que goza Bluetooth es que existen ya muchos dispositivos que tienen integrada esta tecnología. Algunas estimaciones afirman que en 2008 habrá en Europa 286 millones de teléfonos, ordenadores portátiles y PDAs con este tipo de tecnología inalámbrica, y 53 millones de dispositivos Wi-Fi. En estas condiciones ambas tecnologías, cuya complementariedad, muy discutida, es hoy un hecho, tendrán que coexistir. Hoy en día lo hacen con ciertos límites, pues la posibilidad de que ambas interfieran entre sí es real, sobre todo a distancias inferiores a los dos metros. Las interferencias pueden llegar a provocar pérdidas de datos, aunque no daños físicos en los terminales. El SIG (*Special Interest Group*) de Bluetooth y el IEEE trabajan para llegar a eliminar estos problemas.

Los dispositivos Bluetooth llevan un identificador único y necesitan un mecanismo para identificar a sus vecinos, sincronizarse y finalmente completar la conexión. Un dispositivo Bluetooth lleva a cabo dos procesos que le permiten establecer una comunicación. Si no se conoce ningún dato del dispositivo, éstos deben ejecutarse secuencialmente. En caso contrario, es suficiente con ejecutar el segundo de ellos:

- Mediante el mecanismo de pregunta (*inquiry*), que dura entre 5 y 10 segundos, el dispositivo que pregunta (en aplicaciones de localización, típicamente un punto de acceso) es capaz de

(15) Más información en: <<http://www.bluetooth.com/news/releases.asp?A=2&PID=1437&ARC=1>> [nov. 2004].

conocer los identificadores y los relojes de todos los dispositivos vecinos que tiene en su área de cobertura.

- Conocidos o una vez recibidos previamente los identificadores de los dispositivos cercanos (mediante *inquiry*), el dispositivo maestro puede establecer una conexión con uno o más de sus vecinos. El tiempo que necesita para completar este proceso de *paging* no es superior a los 2 segundos.

Aunque Bluetooth no fue concebida como una tecnología de localización, gracias a sus protocolos es posible implementar un sistema para calcular con diferente precisión la posición de un dispositivo o etiqueta (16). Una posibilidad es instalar un punto de acceso en cada zona del área a cubrir, para llevar a cabo una identificación por celda convencional.

El segundo método puede localizar en dos dimensiones. Los puntos de acceso se colocan más distanciados unos de otros, normalmente cada 10 ó 15 metros. Para cada etiqueta, se mide la distancia a diferentes puntos de acceso y posteriormente se triangula, utilizando el método de potencia de la señal recibida.

En muchas ocasiones, Bluetooth se combina con otras tecnologías (como infrarrojos) para mejorar la precisión de la localización, y también evitar posibles errores debidos a oclusiones o pérdida de señal.

En la actualidad, existen varias empresas que comercializan o desarrollan soluciones de localización basadas en Bluetooth o híbridos (Tadlys (17) , BlueLon (18) a través de la adquisición de Bluetags, Bluegiga con GCT (19) , Blueposition (20) , etc.). Las aplicaciones van dirigidas a proveer localización, a gestionar alarmas o grabar rutas. Este tipo de servicios pueden ser útiles en hospitales, centros de trabajo, colegios, áreas recreativas, etc. Existen proyectos que ligan la localización a la oferta de servicios comerciales móviles o de publicidad en un entorno definido, como grandes almacenes.

Para terminar, en cuanto a seguridad se refiere, Bluetooth es "seguro" si su implementación y configuración es correcta, según sus desarrolladores. No obstante, la tecnología resulta vulnerable a escuchas, jamming, ataques SNARF (21) , etc. (AirDefense, 2004), por lo que para servicios de posición que de alguna manera revelen datos personales, es fundamental tener en cuenta este aspecto.

(16) *La implementación de un sistema de localización basado en Bluetooth puede encontrarse en (González-Castaño, 2002, 2003).*

(17) *Tadlys: <<http://www.tadlys.com>>.*

(18) *BlueLon: <<http://www.bluelon.com>>.*

(19) *GCT: <http://www.gctiberica.com/notas_pdf/bluegiga_gct.pdf>.*

(20) *Blueposition: <<http://www.blueposition.com>>.*

(21) *El ataque SNARF (o bluesnarfing) está basado en conseguir una comunicación entre dos dispositivos bluetooth sin que uno de ellos alerte al propietario del establecimiento del canal, permitiendo al atacante el acceso a zonas restringidas de la memoria del dispositivo atacado. <<http://www.thebunker.net/security/bluetooth.htm>>, [23 de diciembre de 2004].*

Tadlys posee la solución TOPAZTM para localización en interiores, basada en Bluetooth y mejorada con infrarrojos.

- Precisión (en el 85% de los casos): la mejor, entre 2 y 3 metros.
- Latencia: 15–30 segundos.
- Tiempo de recarga de la etiqueta: una vez a la semana (en el peor de los casos).
- Tipo de dispositivos localizados: etiquetas Tadlys, etiquetas Bluetooth de otras marcas, dispositivos con Bluetooth.
- El sistema es capaz de localizar hasta diez dispositivos simultáneamente.

Sobre este sistema ofrecen diferentes aplicaciones, una de los cuales es la localización de pacientes (enfermos cardíacos o gerontológicos) en entornos hospitalarios. El sistema consiste en unas mini-etiquetas que portan pacientes y en un servidor de posición dedicado, además de antenas inteligentes colocadas en el techo. El sistema es capaz de localizar al paciente, lanzar alarmas si éste se aproxima a áreas no autorizadas, desaparece o sufre un percance.

4.2.3 Banda ultra-ancha

Ultrawideband (UWB) es una tecnología que nació durante la década de 1960, y cuyo nombre fue acuñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos en 1989. Se desarrolló para radar, localización y aplicaciones de comunicaciones. Su mayor atractivo residía en que la capacidad de UWB de operar en condiciones desfavorables de relación señal a ruido, evitaba que las comunicaciones seguras pudieran ser interceptadas.

UWB emplea ráfagas de potencia mil veces más baja que las de un teléfono móvil, con duración de picosegundos, en un espectro de frecuencia amplio (3,1–10,6GHz). Estas ráfagas ocupan uno o unos pocos ciclos de portadora RF, por lo que la señal resultante tiene un ancho de banda relativo grande. Sobre las ráfagas es posible transferir datos a velocidades de centenares de megabits por segundo. Además, la señal es relativamente inmune a la cancelación multitrayecto, ya que debido a su corta duración la señal directa regresa antes de que las señales reflejadas en los obstáculos alcancen el receptor. Por ello, y porque es un sistema de baja complejidad y coste reducido, UWB resulta especialmente adecuada para aplicaciones móviles. Puede asimismo solucionar los problemas de precisión y de seguridad de los que adolece la red Wi-Fi.

Debido a sus características, esta tecnología permite localizar los terminales móviles con un error insignificante. UWB está basada en pulsos ultracortos, de tal manera que el receptor puede determinar el tiempo de llegada con precisión de picosegundos y, por tanto, estimar la posición con precisión de centímetros. La distancia al móvil se calcula midiendo el retardo de un pulso desde que es emitido por el transmisor hasta que llega al receptor. Posteriormente, utilizando triangulación (típicamente TDOA o TOA) se determina con gran exactitud la posición del terminal. Si se realizan las medidas respecto a cuatro receptores diferentes, es posible saber con precisión también la altura a la que está el usuario.

En la actualidad, la industria está a la espera de que IEEE ratifique una especificación UWB (que se denomina 802.15.3a). El proceso de definición del estándar está siendo complicado debido a los intereses enfrentados de los dos grupos que posiblemente fabricarán con esta tecnología. Por una parte, la alianza liderada por Intel (*Multiband OFDM Alliance* (22)) defiende una especificación basada en OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). La empresa Motorola, en cambio, secunda una propuesta competidora que utiliza la tecnología DS-CDMA (23) (*Direct Sequence Code Division Multiple Access*). Debido a esta situación, la posibilidad de que al final sean dos los estándares (de facto), cobra cada vez más fuerza. En cualquier caso, cuando la tecnología esté estandarizada de alguna manera, ésta podrá ser incorporada en dispositivos móviles como teléfonos o PDAs. Se calcula que los primeros se pondrán en el mercado durante el año 2005.

La principal barrera para la implantación de UWB será el grado de penetración que haya alcanzado Wi-Fi en el momento en que se proceda a su lanzamiento comercial. A pesar de sus prestaciones, resultará difícil que se implante en lugares donde Wi-Fi esté instalado y funcionando (24) . UWB aparece también como rival de Bluetooth, ofreciendo gran capacidad a corta distancia, y como complemento de Wi-Fi: en una planta de edificio, 802.11 sería el *backbone* de red sin hilos, y UWB sería la red local de una habitación. El futuro de la tecnología vendrá determinado por la apuesta que hagan los grandes fabricantes.

Como ejemplos comerciales, dos de las empresas que proporcionan servicios de localización basados en UWB son Parco PAL y Ubisense. Parco PAL (25) , mediante la tecnología de Multispectral Solutions (Fontana, 2003), ofrece en la actualidad un sistema UWB de localización en tiempo real (RLTS), específico para seguimiento de objetos en hospitales. Su bajo nivel de potencia evita las interferencias con equipos médicos, proporciona localización muy precisa, y sin hacer modificaciones hardware, los mismos transceptores son capaces de enviar o recibir datos asociados al objeto en el que están colocados. La tecnología UWB de Parco es, según sus desarrolladores, inmune a las escuchas, a las interferencias o al jamming (interferencias provocadas), por lo que es segura y apta para aplicaciones que requieran alta protección de la información tratada.

Ubisense (26) dispone de una solución que utiliza TDOA y AOA, con el fin de determinar la posición de un dispositivo únicamente con la señal recibida de dos antenas, reduciendo de esta forma la densidad de receptores. El sistema de Ubisense obtiene una precisión en tres dimensiones de 15 cm, soporta comunicación bidireccional sobre un canal de RF estándar, y permite cambiar la frecuencia de interrogación en función de la aplicación.

La *tabla 4* muestra una comparativa resumida de algunas tecnologías inalámbricas. Como se puede observar, UWB tiene una capacidad muy superior al resto, con una potencia de emisión

(22) Información adicional en la página web de la Multiband OFDM Alliance: <<http://www.multibandofdm.org>>.

(23) Motorola está en proceso de adquisición de la empresa XtremeSpectrum.

(<<http://www.xtremespectrum.com>>), propietaria de un sistema UWB con DS-CDMA. El UWB Forum agrupa a las empresas que consideran esta aproximación la más adecuada para ser estándar (<<http://www.uwbforum.org>>).

(24) The Ultrawideband Weblog: <<http://uwb.weblogsinc.com/entry/1534297196564853>>.

(25) Más información en: <<http://www.parcocomergedmedia.com>>.

(26) Más información en: <<http://www.ubisense.com>>.

insignificante, pero está limitada en alcance. Algunas soluciones tecnológicas basadas en UWB han conseguido, sin embargo, aumentar este factor (27).

T4. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS (STROH, 2003)

Tecnología	Tasa de datos (Mb/s)	Potencia (mW)	Alcance(m)	Frecuencia
Bluetooth	1-2	100	100	2,4GHz
IrDA	4	100	1-2	Infrarrojo
UWB	100-500	1	10	3.1-10.6GHz
IEEE 802.11a	54	40-800	20	5GHz
IEEE 802.11b	11	200	100	2.4GHz
IEEE 802.11g	54	65	50	2.4GHz

4.2.4 RFID

La tecnología RFID (*Radio Frequency Identification*) permite la identificación a distancia de un objeto o persona, sin línea de vista directa.

Los antecedentes de la RFID actual aparecieron durante la II Guerra Mundial, cuando el ejército inglés utilizaba tecnologías de este tipo para distinguir sus aviones de los enemigos. En la década de los 60, RFID comenzó a emplearse en aplicaciones civiles. En la actualidad, parece que se ha gestado el marco propicio para el desarrollo y despliegue de RFID. La tecnología es madura, las aplicaciones que se imaginan suponen un gran ahorro de costes, y el coste de desarrollo e implantación va disminuyendo progresivamente. Hoy en día, la tecnología se emplea para control de acceso, gestión de almacén, marcación de animales, pago de peajes, etc.

Los sistemas RFID están formados por tres componentes: etiquetas (*tags*), lectores o receptores y un sistema central de control. En un sistema RFID típico, los objetos, animales o personas están equipados con una etiqueta que contiene un transpondedor con un chip digital de memoria. El interrogador o lector está formado por una antena, capaz de emitir una señal que activa la etiqueta, permitiéndole leer los datos almacenados en ella, y en algunos casos, incluso escribir en la memoria.

Las etiquetas de RFID pueden ser de dos tipos: pasivas y activas. Las etiquetas pasivas no están dotadas de un sistema de alimentación propio. Poseen un circuito que se excita al recibir la potencia emitida por la antena del lector; esta potencia es suficiente para transmitir los datos almacenados en la etiqueta (28), en general poco más que un identificador. Las etiquetas pasivas funcionan en los cuatro tramos de frecuencias en los que se pueden encontrar sistemas RFID, a saber: baja frecuencia (LF, 125KHz), alta frecuencia (HF, 13.56MHz), UHF (433MHz, 868-915MHz) y microondas (2.45GHz-5.8GHz). El coste de estas etiquetas es relativamente bajo y su

(27) <http://www.pulse-link.net/wireless_current.html>.

(28) Una explicación sencilla acerca del funcionamiento físico de las etiquetas pasivas RFID puede encontrarse en Want (2004).

tamaño, pequeño (29), al no llevar batería integrada. El problema es que su rango de lectura también está limitado en los productos comerciales existentes hoy en día (típicamente oscila entre decenas de centímetros y algunos metros, aumentando en función de la frecuencia). Las etiquetas pasivas se están utilizando para reemplazar el sistema de código de barras tradicional.

Por su parte, las etiquetas activas llevan acoplada una batería que les permite transmitir sus datos de forma autosuficiente en caso de interrogación. Comercialmente, y en una oferta mucho más limitada que en el caso de los *tags* pasivos, las etiquetas activas se ofertan para frecuencias de UHF y microondas. Su rango de lectura es considerablemente mayor (hasta decenas de metros con las limitaciones actuales de potencia), como también lo es su memoria, su tamaño (30) y su coste. Las etiquetas activas se emplean para identificar unidades de producto (palés, por ejemplo) de valor en movimiento.

Para aplicaciones de localización en interiores, las etiquetas más adecuadas disponibles hoy en día son las activas, fundamentalmente por su mayor rango de lectura. El rango de lectura está determinado por la potencia que el interrogador es capaz de comunicar a la etiqueta, por la potencia de la que ésta dispone para responder, y por las condiciones del entorno.

En muchas ocasiones es necesario evaluar, asimismo, la tasa de identificación de los dispositivos (es decir, el número de *tags*/segundo que el lector puede procesar). Por otra parte, la duración de la batería de los dispositivos, el tamaño del *tag* o su actuación frente a las condiciones externas (por ejemplo, en cuanto a temperatura o resistencia a impactos), son otros aspectos importantes.

Algunas experiencias de localización mediante RFID (Lionel, 2003) se han implementado utilizando la medida de la potencia recibida en el lector. Para paliar los errores inducidos por las pérdidas causadas por la presencia de obstrucciones estáticas o de cuerpos en movimiento no previsibles, el método se sirve además de etiquetas RFID de referencia. Con una etiqueta baliza por metro cuadrado, consigue precisión de 1 a 2 metros.

Los desarrolladores de este sistema se enfrentaron a diferentes problemas:

- La forma en la que el lector proporcionaba la información de potencia del *tag* no era la más adecuada. El lector arrojaba un resultado de "detectado" o "no detectado", en cada uno de los ocho niveles de potencia establecidos. El software debía repasar cada uno de estos niveles, por lo que la latencia crecía innecesariamente.
- La frecuencia a la que se podían recibir los datos era muy limitada, porque había que evitar la posibilidad de colisión.
- La variabilidad entre etiquetas RFID (dos etiquetas no emiten en las mismas condiciones la misma potencia) les llevó a hacer una clasificación previa de etiquetas por potencia.

(29) Según Wikipedia (<<http://en.wikipedia.org/wiki/RFID>).

(30) Por ejemplo, un *tag* comercial de elevadas prestaciones en cuanto a alcance en UHF mide alrededor de 12x3x2 cm. No obstante, los hay de tamaño de una tarjeta.

Los sistemas comerciales actuales van solucionando este tipo de carencias. Además, las funcionalidades de las etiquetas RFID se están extendiendo más allá del almacenamiento de información: sensores integrados, nuevos mecanismos de control de apertura en productos ligados con la tecnología, o memorias programables por el usuario están ya disponibles.

Un *tag* UHF comercial de altas prestaciones puede ofrecer, combinado con el lector adecuado, hasta 100 metros de rango de lectura y una frecuencia de interrogación de 100 etiquetas/seg. La memoria de cada etiqueta puede alcanzar los 32KB y la duración de la batería, cinco años (en función de la tasa de interrogación). Además, el *tag* puede disponer de comunicación bajo demanda, transmisión sin línea de vista directa, sensor de temperatura con precisión de 0,25°, funcionamiento en entorno industrial entre -40° y 85°C...

No obstante, también quedan por resolver unas cuantas cuestiones técnicas que, hoy por hoy, son una barrera a la implantación general de RFID, y en particular a la localización mediante esta tecnología (Want, 2004):

- En primer lugar, es necesario corregir la alta sensibilidad a la orientación de las antenas de la mayor parte de los sistemas. Como habitualmente las etiquetas no pueden cambiar su posición, algunos proponen una solución basada en un lector capaz de conmutar entre varias antenas.
- También se prevén problemas cuando la implantación de sistemas RFID se extienda, por el hecho de que los lectores no están preparados para funcionar en presencia de otros interrogadores. Se está trabajando en estándares que definan un protocolo de acceso al medio (quizás basado en CDMA).
- Algunos materiales, como el metal, no son los mejores para soportar un *tag* RFID, y sin embargo existen productos que a día de hoy no pueden ser envasados de otra forma. Los nuevos materiales y la capacidad de aislar la etiqueta de los envases serán la clave.
- En la actualidad, diferentes estándares de datos están siendo implementados para las soluciones RFID. Por una parte, los estándares ISO 14443 e ISO 15693 operan a 13,56MHz, y EPCGlobal, a 915MHz. Una solución a la multiplicidad de estándares y frecuencias será construir lectores que operen con todos ellos.
- Los estándares se ocupan del formato en el que se almacenan los datos en las etiquetas de solo lectura. Sin embargo, los *tags* que también permiten escritura son susceptibles de almacenar información en formato propietario, que puede convenir que sea accesible. Una posibilidad es el uso de un formato basado en XML.
- Hoy en día, la mayor parte de los sistemas RFID disponibles ofrecen un corto rango de alcance. A medida que los requisitos de potencia de la electrónica de la etiqueta disminuyan y se consigan receptores más sensibles a coste razonable, será posible aumentar el alcance de los sistemas.

Un aspecto fundamental es la rebaja del precio de las etiquetas para que los sistemas RFID se extiendan masivamente. Para algunos productos, el coste actual (alrededor de medio euro) no es

asumible. Analistas como Gartner y Forrester Research vaticinan que etiquetas a menos de 10 céntimos de euro no estarán disponibles hasta dentro de 6 u 8 años.

Ya existen múltiples empresas que ofrecen hardware RFID con diferentes prestaciones. La lista es larga: Alien Technologies, Matrics, Deisler Electronics, RFID Inc., AWID, IDENTEC Solutions... Muchas consultoras y algunas de estas empresas ofrecen también soluciones a medida, casi siempre para aplicaciones de logística y distribución (almacén, gestión de flotas, control de inventario...).

4.3 Servicios y aplicaciones basados en localización para interiores y espacios acotados

Nuevos conceptos como la inteligencia ambiental o la computación ubicua, que encierran la posibilidad (e incipiente realidad) de que el entorno interactúe con las personas en función de sus necesidades, implican, entre otros elementos, el uso masivo de dispositivos móviles y de sistemas que permitan conocer su posición. En general, los servicios basados en localización que se ofertan hoy en día están adaptados a las prestaciones de cada tecnología (en cuanto a precisión, latencia, etc. se refiere), pero realmente, un mismo servicio es susceptible de ser implementado de forma eficiente a partir de soluciones tecnológicas distintas. La revisión de la oferta actual de servicios de localización basados en la posición del usuario, desvela que son ya numerosas las áreas o contextos en las que estas tecnologías pueden tener algo que decir.

Aplicaciones en espacios de trabajo. La forma tradicional de interactuar con las máquinas puede cambiar con las tecnologías de localización. Un ordenador puede reconocer automáticamente la identidad del usuario, y mostrarle su escritorio; o un teléfono puede redireccionar una llamada automáticamente al terminal que esté más próximo a la persona requerida. Asimismo, se puede optimizar el uso de recursos compartidos, y la gestión de la luz o la calefacción, con el fin de ahorrar en costes fijos. Por otra parte, menos evidente es la aportación que pueden hacer estas tecnologías a la adecuada gestión del espacio, pero con ellas es posible obtener estadísticas precisas de ocupación de recintos, las cuales pueden contribuir considerablemente a la optimización del uso de los recursos.

Servicios sanitarios. Hay muchas formas de utilizar los servicios basados en localización en esta área, que es una de las que más interés parece tener entre los proveedores de tecnología de localización en redes inalámbricas. El control espacial en tiempo real de pacientes y personal sanitario permite mejorar el tiempo de reacción ante emergencias, disminuir los tiempos de búsqueda, y optimizar de la utilización de los recursos. La mejora de la gestión de la información (por ejemplo, que según un médico avance hacia su próximo paciente, su historia médica aparezca en el dispositivo correspondiente), la producción de alertas en entornos de urgencias para evitar olvidos, o el registro de visitantes son otras aplicaciones. El conocimiento de la ubicación del material hospitalario (bombas de infusión, electrocardiógrafos, camas...) puede también facilitar la actividad diaria.

Seguridad. Una de las aplicaciones tradicionales de este tipo de tecnologías es el control de accesos a edificios o a áreas restringidas. También el seguimiento de personas o artículos dentro

de un espacio, o la detección de presencia –las tecnologías de localización, combinadas con sensores de presencia, pueden simplificar la comprobación de una intrusión. En el caso de que exista material que sólo puede ser utilizado o manipulado por personal autorizado, es posible pensar en sistemas que verifiquen su uso correcto, simplemente observando la relación entre los identificadores de ambos elementos (persona y recurso).

Entretenimiento. En esta área, tan numerosos como los escenarios son las aplicaciones que pueden tener las tecnologías de localización. Museos y exposiciones, parques de atracciones, zoos, recintos deportivos, juegos... Por ejemplo, el disponer de información ubicua en recintos históricos, museos o exposiciones mejora la atención al visitante. Además, la posibilidad de localizar rápidamente a visitantes especiales (como niños o ancianos), puede evitar que éstos se pierdan o solventar problemas asociados. Por otra parte, algunos juegos (como el *paintball*) pueden ser más emocionantes con el uso de tecnologías de localización.

Publicidad y comercio. Los servicios que ya están siendo implementados en cierta forma para los usuarios de redes de telefonía móvil, pueden concebirse también para entornos más limitados como, por ejemplo, centros comerciales, en los que se parte con la ventaja de que el usuario está más decidido a comprar. La precisión de la localización es importante en este tipo de aplicaciones, por ejemplo para conocer la planta correcta en la que se encuentra el cliente objetivo. Para los comercios, la posibilidad de lanzar mensajes promocionales, recomendaciones u ofertas al potencial cliente en función de la posición en la que se encuentre, puede suponer un sistema efectivo de atracción.

Entrenamiento militar, de bomberos o de otros cuerpos de emergencia. Los ejercicios de entrenamiento de cualquiera de estos profesionales pueden ser supervisados en tiempo real o a posteriori, con el fin de evaluar de forma precisa su realización. La generación de vídeos de seguimiento individualizados a partir de las etiquetas o dispositivos portados por cada sujeto, la activación de eventos u obstáculos ligados a la posición de los participantes, la prevención de explosiones pirotécnicas controladas en caso de riesgo, la elaboración de estrategias... son otras posibilidades.

Aplicaciones deportivas. En este ámbito, el seguimiento de deportistas para análisis de estrategias y de rendimiento, o la generación de vídeos para posterior implementación de juegos o de simulaciones son algunas de las aplicaciones que pueden soportar las tecnologías de localización.

Otras aplicaciones están relacionadas con el *montaje de escena* en teatros (escenarios cuya iluminación, o efectos especiales se adaptan a la posición de los actores) o con los *simulacros de evacuación* (tanto en edificios como en aviones, trenes...). Algunas empresas sugieren aplicaciones que permiten la *observación del comportamiento de los animales*, o el *control automático de cámaras de vídeo* para grabación de conferencias o clases.

El espacio se vuelve inteligente con este tipo de aplicaciones, que ofrecen sus posibilidades de manera transparente al usuario. La seguridad y la confidencialidad, el peligro de la utilización incorrecta de estas tecnologías mediante aplicaciones maliciosas, deja un debate abierto sobre el control que se puede ejercer sobre el individuo, llevando a cuestionar su uso en determinados ámbitos.

5. Recapitulación

Los servicios basados en localización cubren un amplio espectro de aplicaciones, dispares entre sí también en cuanto al espacio para el que están pensadas. En estas páginas se han recorrido algunas tecnologías que hoy por hoy, permiten ofrecer servicios basados en localización. Se han revisado también, y en primer lugar, los principios más comúnmente utilizados para localizar un terminal móvil: basados en el ángulo de llegada, en la potencia de la señal recibida o en diferentes parámetros temporales, estos métodos se emplean tanto en redes de telefonía móvil como en WLAN.

Se ha descrito asimismo el proceso de funcionamiento del GPS con algunas de sus variantes (GPS asistido y un sistema híbrido basado en TV). Los métodos de localización se han clasificado para redes de telefonía móvil tradicional, haciendo algunos comentarios sobre las tendencias actuales de uso en este ámbito.

En lo relativo a tecnologías de localización para interiores, se ha pretendido realizar un análisis más extenso. La localización en espacios acotados tiene el potencial suficiente para imaginar y ofrecer aplicaciones novedosas e influyentes en el mercado de las redes inalámbricas de área local, muy activo en la actualidad. Como se comenta en apartados anteriores, a la hora de decantarse por un sistema comercial o una tecnología, es necesario tener en cuenta factores tan variados como la precisión, la disponibilidad, la latencia, la duración de la batería del dispositivo móvil, etc.

Se ha ofrecido también una visión general de las principales tecnologías que en la actualidad permiten la localización en espacios acotados: Bluetooth, Wi-Fi, RFID y UWB son algunas de ellas. Por supuesto, muchas otras han quedado en el tintero: infrarrojos, radiofrecuencia tradicional, imagen, ultrasonidos, sistemas híbridos (UHF+IR...), etc., tecnologías que también permiten la implementación de soluciones basadas en localización. La mayor parte de los sistemas presentados utilizan AOA, TOA, TDOA, RSS o localización por celda. Parece que el método más popular entre los sistemas ofertados es el de medida de potencia de la señal recibida, pues presenta un compromiso razonable entre condición de las antenas, modificación hardware precisión (de 1 a 3 metros). Los métodos basados en tiempo son más difíciles de implementar, aunque resultan más precisos, y el basado en el ángulo de llegada tiene el gran inconveniente de la complejidad de las antenas.

T 5. COMPARATIVA ORIENTATIVA. 1-BAJO, 3-ALTO

	Tamaño de tag	Duración de la batería	Precisión	Latencia	Coste del tag	Coste de infraestructura e instalación
Bluetooth	2	1	2	2	2	2
IEEE 802.11	2	1	2	2	2	3
UWB	2	2	3	3	2	2
RFID pasiva	3	3	1	2	3	3
RFID activa	2	3	2	3	2	3

Cada factor es muy dependiente del sistema específico que implementa la localización.

Junto con las tecnologías, se ha presentado una revisión de aplicaciones comerciales y algunos productos particulares ofertados por distintas empresas del sector, a título de ejemplo.

De muchas de las soluciones tecnológicas comercializadas hoy en día, aún se critican los altos costes de entrada que tienen tanto para los usuarios como para los desarrolladores de aplicaciones. Por otra parte, la seguridad y la privacidad de las conexiones es un aspecto que a veces parece olvidado o, al menos, no lo suficientemente cuidado. Quedan, por tanto, diversos problemas que subsanar en un mundo tecnológico en el que la disponibilidad de sistemas de localización precisos, interoperables, seguros, y en tiempo real parece una condición *sine qua non* para hacer realidad un espacio inteligente que interactúe con las personas de forma sencilla y transparente.

6. Referencias

- Aranda, E.; De la Paz, A.; Berberana, I.; González, H. (2001): Sistemas de localización en redes móviles: el servicio de emergencias 112. *Comunicaciones de Telefónica I+D*, número 21, pp. 117-131. Madrid.
- Aruba (2003): *RF Distance Measurement and Location-Based Services in Corporate Wi-Fi Networks*. <<http://www.arubanetworks.com/pdf/rf-location.pdf>>, [25 de noviembre de 2004].
- Auna (2004): *Informe anual sobre el desarrollo de la Sociedad de la Información en España*. Fundación Auna, Madrid.
- Cabas, J. (2002): *Localización*. <<http://www.catedra-tme.etsit.upm.es/2Jornadas3G/Localizacion.pdf>>, [20 de noviembre de 2003].
- CMT (2004): *Informe Anual 2003*. Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, Madrid.
- Djuknic, G.M.; Richton, R.E. (2002): *Geolocation and Assisted-GPS*. <http://www.lucent.com/livelink/090094038000e51f_White_paper.pdf>, [6 de diciembre de 2004].
- Fontana, R.J.; Richley, E.; Barney, J. (2003): Commercialization of an Ultra Wideband precision asset location system. *IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies*, November 2003, Reston, VA.
- González-Castaño, F.J.; García-Reinoso, J. (2002): Bluetooth Location Networks. *Proc. IEEE Globecom 2002*.
- González-Castaño, F.J.; García-Reinoso, J. (2003): Survivable Bluetooth Location Networks. *IEEE International Conference of Communications (ICC 2003)*. Anchorage, EEUU.
- Hernando, JM. (1997): *Comunicaciones Móviles*. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces S.A. Madrid.
- Kaplan, E. (1996): *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House Telecommunications Library, Norwood, MA.

- LaMarca, A.; Chawathe, Y.; Consolvo, S. et al. (2004): *Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild*. Intel Corporation.
- Martínez, D. (2003): *Servicios de Localización*, <http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&u_log=81>, [6 de septiembre de 2003].
- Mock, D. (2002): *Wireless Location Technologies*, <http://www.unstrung.com/document.asp?doc_id=15069&print=true>, [8 de septiembre de 2003].
- Ortiz, G. (2003): *El funcionamiento de GPS: un repaso de los principales componentes, tipos de receptores y métodos*, <<http://www.spain-telecom.net/BoletinInformes2.htm>>, [27 de octubre de 2003].
- Pfeiffer, E. (2003): *WhereWare. MIT's Technology Review*, <http://www.technologyreview.com/articles/print_version/pfeiffer0903.asp> [5 de septiembre de 2003].
- Rabinowitz, M.; Spilker, J.J. (2003): *A New Positioning System Using Television Synchronization Signals*, <http://www.rosun.com/RosunCorpWhitePaper_A_New_Positioning_System_Using_TV_Synch_Signals_030313.pdf> [27 de octubre de 2003].
- Stroh, S. (2003): Ultra-Wideband: Multimedia Unplugged. *IEEE Spectrum*. Vol. 40, N.9. Pp. 23-27.
- Swedberg, G. (1999): La solución de localización móvil de Ericsson. *Ericsson Review*, número 4, pp. 214-221.
- Vossiek, M.; Wiebking, L; Gulden, P.; Wieghardt, J.; Hoffman, C.; Heide, P. (2003): Wireless Local Positioning. *IEEE Microwave Magazine*, diciembre 2003, 77-86.
- Want, R. (2004): The magic of RFID. *ACM Queue* vol. 2, no. 7

Capítulo 2

Tecnologías de Identificación por Radiofrecuencia (RFID)

Ana B. Bermejo Nieto e Ignacio Arnott González-Tova

ETS Ingenieros de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

1. Introducción (48)
 - 1.1. Captura e Identificación Automática de Datos (48)
 - 1.2. La Identificación por Radiofrecuencia (49)

2. La tecnología RFID (50)
 - 2.1. Componentes (50)
 - 2.2. Tipos de sistemas (50)
 - 2.3. Modo de funcionamiento del sistema (51)

3. Componentes de la tecnología (52)
 - 3.1. Transpondedores (52)
 - 3.2. Lector (56)
 - 3.3. El sistema de información (58)

4. Frecuencia de funcionamiento (58)

5. Estado de la tecnología (60)

6. Tipos de sistemas RFID (62)
 - 6.1. Sistemas EAS (62)
 - 6.2. Sistemas de Captura de Datos (62)
 - 6.3. Sistemas de Localización (64)

7. Aplicaciones (65)
 - 7.1. Despliegues en curso (65)
 - 7.2. Escenarios de aplicación (66)

8. Listado de acrónimos (72)

9. Referencias (72)

1. Introducción

1.1 Captura e Identificación Automática de Datos

RFID es una tecnología de **Captura e Identificación Automática de datos** (AIDC, *Automatic Identification Data Capture*) que posee dos ventajas fundamentales: una gran capacidad para almacenar información y la posibilidad de capturar esa información sin necesidad de contacto físico ni visual entre el portador de los datos (etiqueta) y un dispositivo lector.

En general, los sistemas de Captura e Identificación Automática de Datos permiten recoger y almacenar electrónicamente la información, gracias a los portadores de datos, que viajan físicamente con el objeto transportando la información o una clave para acceder a ella. Esta información puede emplearse bien con propósitos de identificación, bien como clave para acceder a un registro de una base de datos local o distribuida, donde se encuentra almacenada información adicional sobre el objeto en cuestión.

Los dispositivos lectores son capaces de capturar, de forma automática, los datos asociados al objeto, integrándolos directamente en el sistema de información de las empresas. Este hecho posibilita el tratamiento y transferencia de los datos de forma rápida y efectiva allá donde sea necesario.

La utilización de sistemas AIDC conlleva claros beneficios en términos de ahorro, ya que reducen las pérdidas de tiempo (disponibilidad inmediata de la información), de esfuerzo y de materiales, y minimizan o incluso eliminan los errores, redundando todo ello en un aumento de productividad y fiabilidad. Por otro lado, favorece la gestión de las actividades logísticas y el seguimiento de los artículos (trazabilidad).

Existen diversos tipos de tecnologías AIDC:

- De almacenamiento óptico, como los códigos de barra lineares o los códigos matriciales.
- De almacenamiento magnético, como las bandas magnéticas (en tarjetas de crédito o tickets de transporte).
- De almacenamiento electrónico, como las etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification*).

Seguramente, el ejemplo más visible de utilización de AIDC sea el código de barras aplicado a la venta de productos. No obstante, esta tecnología no se reduce únicamente a este tipo de aplicaciones, sino que resulta relevante para multitud de sectores de la industria. Sin embargo, la gran cantidad de información que se maneja hoy en día, unida a la necesidad de tenerla disponible en todo momento, hacen de ella una tecnología ineficiente que necesita ser mejorada.

Frente a los sistemas de códigos de barras, aparecen los sistemas de **Identificación por Radiofrecuencia** (RFID, *Radio Frequency Identification*), tecnología que permite la identificación a distancia y sin cables de objetos a los que se les ha incorporado etiquetas electrónicas.

1.2 La Identificación por Radiofrecuencia

La identificación por radiofrecuencia es una tecnología de captura e identificación automática de datos cuya información se almacena de forma electrónica en etiquetas o transpondedores. Cuando estos transpondedores entran en el área de cobertura de un lector, aprovechan la energía que éste emite para transmitir la información almacenada en su memoria. La recuperación de dicha información se realiza sin necesidad de que exista contacto físico o visual entre el dispositivo lector y las etiquetas, por medio de radiofrecuencia.

La tecnología RFID presenta las siguientes **ventajas** frente a otras técnicas de identificación automática.

- No requiere visibilidad directa.
- Admite un amplio rango de capacidades de almacenamiento de información. Dependiendo del tipo de etiqueta es posible almacenar desde unos pocos bits hasta varios kilobits.
- Posee un tiempo de vida muy largo y no requiere mantenimiento.
- Presenta una gran robustez y resistencia a la suciedad y al deterioro físico.
- Posibilita la recogida descentralizada de datos. Dependiendo del tipo de etiqueta puede no ser necesaria la conexión a una base de datos, ya que es posible escribir y almacenar la información directamente en la memoria de los transpondedores.
- Posee capacidad de lectura/escritura, lo que permite la reprogramación y por tanto, su reutilización. Esta funcionalidad depende del tipo de etiqueta.
- Proporciona una mayor seguridad en los datos: permite aplicar algoritmos de detección y corrección de errores, de autenticación y encriptación.
- Posee mecanismos anticolidión que permiten realizar múltiples lecturas de forma simultánea.
- Presenta una gran flexibilidad: la forma y el tamaño del transpondedor pueden adaptarse según necesidades, además de facilitar su completa integración en el producto durante su fabricación.

Frente a estas ventajas aparecen los siguientes **inconvenientes**:

- Poseen un alto coste. En la actualidad, el precio de una etiqueta está aproximadamente entre los 40 y los 50 céntimos de euro, aunque depende en gran medida de la cantidad de etiquetas que se adquieran. A pesar de que se prevé un considerable descenso en su coste (5 céntimos de euro por unidad es el precio objetivo), hoy en día muchos de los productos a identificar tienen un precio de venta al público inferior al precio de la etiqueta en cuestión.
- Existe una carencia de regulación y de estándares comerciales que faciliten su difusión.

- Presenta vulnerabilidades al metal y otros materiales conductivos, a los líquidos y a interferencias electromagnéticas de baja frecuencia.
- Puede presentar problemas de seguridad si no se toman medidas que eviten lecturas y modificaciones fraudulentas de la información.
- No es posible asegurar la lectura de una única etiqueta de modo selectivo. Por ejemplo, es imposible leer la etiqueta de un palet sin recibir las lecturas de todos los elementos que contiene, y que están dentro del radio de cobertura del interrogador.
- Hasta ahora es imposible asegurar que todas las etiquetas que han entrado en el área de cobertura de un interrogador han sido leídas.

2. La tecnología RFID

2.1 Componentes

Todo sistema RFID se compone principalmente de tres elementos:

- Una **etiqueta RFID**, también llamada *tag* o transpondedor (transmisor y receptor). La etiqueta se inserta o adhiere en un objeto, animal o persona, transportando información sobre el mismo. En este contexto, la palabra "objeto" se utiliza en su más amplio sentido: puede ser un vehículo, una tarjeta, una llave, un paquete, un producto, una planta, etc.
- Un **lector** o interrogador, encargado de transmitir la energía suficiente a la etiqueta y de leer los datos que ésta le envíe.
- Un **sistema de información**, *host*, PLC o controlador, que desarrolla la aplicación RFID. Recibe la información de uno o varios lectores y la comunica al sistema de información. También es capaz de transmitir órdenes al lector.

2.2 Tipos de sistemas

Los sistemas RFID pueden dividirse en diversos tipos de acuerdo a distintos criterios.

- Según la capacidad de programación de las etiquetas:
 - De sólo lectura. Aquellas que vienen programadas por el fabricante y no se pueden reprogramar.
 - De una escritura y múltiples lecturas, permiten una única reprogramación de usuario.
 - De lectura/escritura, permiten múltiples reprogramaciones de usuario.
- Según el modo de alimentación de las etiquetas:
 - Activos: si utilizan una batería para transmitir la información.

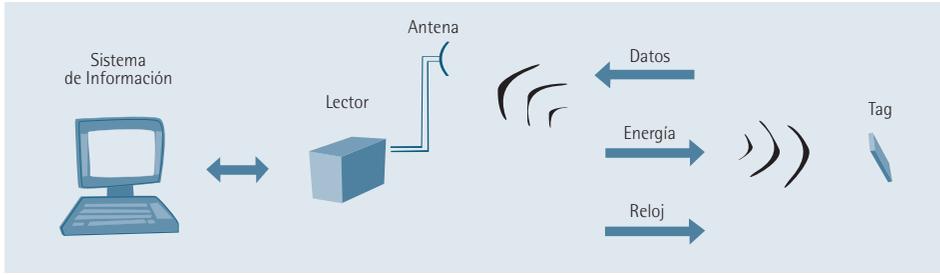
- Pasivos: no necesitan batería.
- Según el rango de frecuencia de trabajo:
 - Baja Frecuencia (BF): se refiere a rangos de frecuencia inferiores a 135KHz.
 - Alta Frecuencia (AF): cuando la frecuencia de funcionamiento es de 13.56MHz.
 - Ultra Alta Frecuencia (UHF): comprende las frecuencias de funcionamiento a 433MHz, 860MHz, 928MHz.
 - Frecuencia de Microondas: comprende las frecuencias de funcionamiento a 2.45GHz y 5.8GHz.
- Según el protocolo de comunicación:
 - Dúplex: el transpondedor transmite su información en cuanto recibe la señal del lector y mientras dura ésta. A su vez puede ser:
 - Half dúplex, cuando transpondedor y lector transmiten en turnos alternativos.
 - Full dúplex, cuando la comunicación es simultánea.
 - Secuencial: el campo del lector se apaga a intervalos regulares, momento que aprovecha el transpondedor para enviar su información.
- Según el principio de propagación o tipo de acoplamiento etiqueta-lector:
 - Inductivos. Utilizan el campo magnético creado por la antena del lector para alimentar el *tag*. Operan en campo cercano (baja cobertura), a bajas frecuencias (BF y AF) y normalmente con etiquetas pasivas.
 - Propagación por ondas electromagnéticas. Utilizan la propagación de la onda electromagnética para alimentar el *tag*. Operan en campo lejano (mayor cobertura), a muy altas frecuencias (UHF y microondas) y con etiquetas activas, ya que requieren una batería adicional.

2.3 Modo de funcionamiento del sistema

Existe una gran diversidad de sistemas RFID que pueden ser utilizados en un amplio abanico de aplicaciones. Sin embargo, a pesar de que los aspectos tecnológicos pueden variar, todos se basan en el mismo principio de funcionamiento:

1. Se equipa a todos los objetos a identificar, controlar o seguir, con una etiqueta RFID.
2. La antena del lector o interrogador emite un campo de radiofrecuencia que activa las etiquetas.
3. Cuando una etiqueta ingresa en dicho campo utiliza la energía y la referencia temporal recibidas para realizar la transmisión de los datos almacenados en su memoria.
4. El lector recibe los datos y los reenvía al ordenador de control para su procesamiento dentro del sistema de información.

FIGURA 1. Esquema de funcionamiento de un sistema RFID



Como podemos ver en el dibujo, existen dos interfaces de comunicación:

- Interfaz Lector - Sistema de Información.
La conexión se realiza a través de un enlace local de comunicaciones estándar, como el RS 232, RS 485, USB, Ethernet, WLAN, etc.
- Interfaz Lector - Tag (Etiqueta).
Se trata de un enlace radio con sus propias características de frecuencia y protocolos de comunicación.

3. Componentes de la tecnología

Como ya hemos comentado, todo sistema RFID se compone básicamente de transpondedor, lector o interrogador y sistema de información. A continuación se describirán estos componentes, junto con los principales parámetros característicos.

3.1 Transpondedores

El transpondedor es el dispositivo que va embebido en una etiqueta o *tag* y contiene la información asociada al objeto al que acompaña, transmitiéndola cuando el lector la solicita.

Consta de un **microchip** que almacena los datos y una pequeña **antena** que habilita la comunicación por radiofrecuencia con el lector. Adicionalmente puede incorporar una batería para alimentar sus transmisiones o incluso algunas etiquetas más sofisticadas pueden incluir una circuitería extra con funciones adicionales de entrada/salida, tales como registros de temperatura, tiempo u otros estado físicos que pueden ser monitorizados mediante sensores apropiados (de temperatura, humedad, etc.).

3.1.1 Componentes

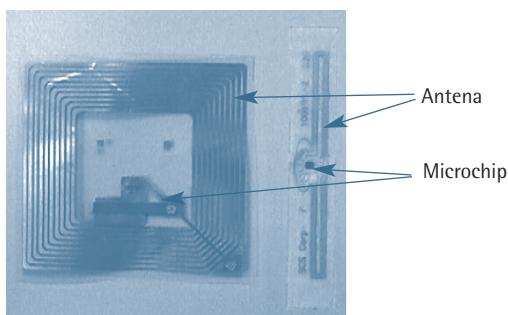
El **microchip** incluye:

- Una **circuitería analógica** que se encarga de realizar la transferencia de datos y de proporcionar la alimentación.

- Una **circuitería digital** que incluye la lógica de control, la lógica de seguridad y la lógica interna o microprocesador.
- Una **memoria** para almacenar los datos, que suele ser una ROM (*Read Only Memory*) o memoria de sólo lectura, para alojar los datos de seguridad y las instrucciones de funcionamiento del sistema, una RAM (*Random Access Memory*) o memoria de acceso aleatorio, utilizada para facilitar el almacenamiento temporal de datos durante el proceso de interrogación y respuesta, una memoria de programación no volátil, para asegurar que los datos están almacenados aunque el dispositivo esté inactivo, y registros de datos (*Buffers*) que soportan los datos de forma temporal.

La **antena del transpondedor** permite recoger la energía procedente del lector y utilizarla para transmitir los datos almacenados en el microchip. Puede tratarse de un elemento inductivo (por ejemplo, una bobina) o bien un dipolo.

FIGURA 2. *En la izquierda, una antena inductiva; en la derecha antena dipolar. Imagen extraída de EAN Argentina.*



3.1.2 Caracterización del transpondedor

Los parámetros que caracterizan las etiquetas RFID y comprenden las bases para diseñar sus especificaciones son:

Modo de alimentación

Dependiendo del modo en que éstas obtengan su potencia, las etiquetas se clasifican en activas o pasivas.

Las **etiquetas activas**, además de recoger energía del lector, se alimentan de una batería para transmitir la información que portan.

En comparación con las etiquetas pasivas, las etiquetas RFID activas permiten un radio de cobertura mayor, mejor inmunidad al ruido y tasas de transmisión más altas cuando se trabaja a alta frecuencia. Estas ventajas se traducen también en un coste mayor, por lo que se aplican

cuando los bienes a identificar lo justifican. Además, el empleo de baterías implica un tiempo de vida finito para el dispositivo.

Típicamente son dispositivos de lectura/escritura. Además, una ventaja adicional que presentan frente a las etiquetas pasivas es que pueden usarse para gestionar otros dispositivos, como los sensores.

Estas etiquetas pueden estar desactivadas (modo reposo) y activarse cuando un lector las interroga, o bien enviar periódicamente señales, aunque no las interroge un lector.

Las **etiquetas pasivas** funcionan sin una batería interna, obteniendo la potencia que necesitan para funcionar del campo generado por el interrogador.

La ausencia de batería provoca que los transpondedores pasivos sean más ligeros, pequeños, flexibles y baratos que los activos. Además, ofrecen un tiempo de vida prácticamente ilimitado. Como contrapartida, poseen unos radios de cobertura menores y requieren más cantidad de energía procedente del interrogador para poder transmitir los datos. También poseen restricciones a la hora de almacenar los datos y no funcionan demasiado bien en ambientes con interferencias electromagnéticas. Asimismo, su sensibilidad y orientación están limitadas por la potencia disponible.

Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, las etiquetas pasivas ofrecen mejores ventajas en términos de coste y longevidad.

Existe un tipo especial de etiqueta pasiva que sí incorpora una batería, pero la misión de ésta es alimentar la circuitería interna del microchip. Nunca se utiliza esa energía para transmitir.

Tipo y Capacidad de los Datos Almacenados

Básicamente, las etiquetas pueden usarse con el fin de transportar:

- Un identificador. El *tag* almacena una cadena numérica o alfanumérica que puede representar:
 - Una identidad. Tanto para identificar un artículo de fabricación o un producto en tránsito, como para proporcionar una identidad a un objeto, un animal o un individuo.
 - Una clave de acceso a otra información que se encuentra almacenada en un ordenador o sistema de información.
- Ficheros de Datos (PDF, *Portable Data Files*). Permiten el almacenamiento de información organizada, sin perjuicio de que adicionalmente exista un enlace a información adicional contenida en otro sitio. Su función puede ser:
 - Transmitir la información.
 - Iniciar/lanzar acciones.

En términos de **capacidades** de datos es posible conseguir *tags* que satisfagan necesidades desde un único bit hasta varios kilobits. La función que desempeñen dependerá de esta capacidad:

Velocidad de Lectura de Datos

La velocidad de lectura de los datos depende principalmente de la frecuencia portadora. En términos generales, cuanto más alta sea dicha frecuencia, más alta será la velocidad de transferencia.

A la hora de establecer tiempos de lectura, debe considerarse el tamaño de los datos que porta la etiqueta, la velocidad con que las etiquetas se mueven dentro de la zona de lectura, y el número de etiquetas que el interrogador debe detectar, ya que cuando varios *tags* intentan transmitir sus datos a un mismo lector, el tiempo de lectura se multiplica por el número de *tags*.

Opciones de Programación

Ya hemos visto que la etiqueta, dependiendo de sus posibilidades de programación, puede ser de sólo lectura, de una escritura y múltiples lecturas, o de lectura y escritura.

Forma física

Las etiquetas RFID pueden tener muy diversas formas, tamaños y carcasas protectoras, dependiendo de la utilidad para la que son creados. Por ejemplo:

Transpondedores encapsulados en ampollas, monedas, pilas, llaves, relojes, varillas, cápsulas, discos, botones...

Etiquetas inteligentes, con el mismo formato que las habituales tarjetas de crédito, a las que se le incorpora un *tag* RFID impreso. Esto permite la utilización de la tarjeta tradicional sin necesidad de contacto físico con un lector.

Con respecto al tamaño, es posible desarrollar etiquetas del orden de milímetros hasta unos pocos centímetros.

FIGURA 3. Ejemplos de etiquetas comerciales RFID, extraídos de Lowry Computer Products, AIM UK y Texas Instruments respectivamente.



Costes

Las principales variables que influyen en el coste de las etiquetas son el tipo y cantidad que se adquieran. En relación al tipo de etiquetas, se pueden considerar factores como la complejidad de la lógica del circuito, el modo en que el dispositivo es encapsulado, la frecuencia de trabajo de la etiqueta (en general, los *tags* de baja frecuencia son más baratos), la posibilidad de lectura/escritura, la inclusión de una batería, etc.

Para grandes cantidades de etiquetas, el precio puede variar desde unos pocos céntimos, para etiquetas muy simples, hasta decenas de euros para dispositivos más sofisticados. A día de hoy, el precio objetivo es de 5 céntimos por etiqueta.

3.2 Lector

Un lector o interrogador es el dispositivo que, por un lado, proporciona energía a las etiquetas, lee los datos que éstas le transmiten y los reenvía al sistema de información, y por otro, gestiona la comunicación.

Con el fin de cumplir tales funciones, está equipado con un módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control y una antena. Además, el lector incorpora un interfaz a un PC, *host* o controlador, a través de RS232, RS485, Ethernet, WLAN (RF, WiFi, Bluetooth, etc.), que permite enviar los datos del transpondedor al sistema de información.

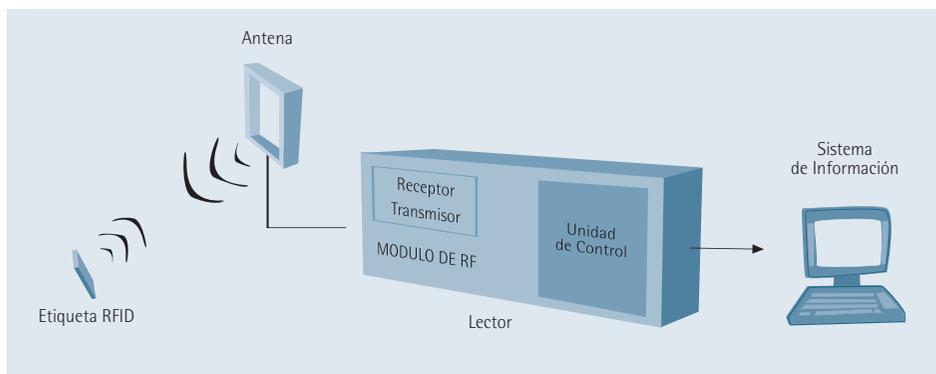
Adicionalmente, algunos lectores llevan integrado un programador que añade a su capacidad de lectura, la habilidad para escribir información en las etiquetas. Los programadores poseen un área de cobertura menor que los lectores, ya que para realizar la escritura se requiere más potencia.

3.2.1 Componentes del lector

El **módulo de radiofrecuencia** consta básicamente de un transmisor que genera la señal de radiofrecuencia y un receptor que recibe, también vía radiofrecuencia, los datos enviados por las etiquetas.

La **unidad de control** está constituida por un microprocesador. Se encarga de realizar las funciones de codificación/decodificación de datos, comprobación de la integridad de los datos, gestión del acceso al medio y comunicación con el sistema de información.

FIGURA 4. Esquema de un lector RFID.



3.2.2 Caracterización del lector

Los lectores pueden variar su complejidad considerablemente dependiendo del tipo de transpondedor que tengan que alimentar y de las funciones que deban desarrollar. Algunos de los principales parámetros que caracterizan un lector RFID son:

- La frecuencia de operación (BF, AF, UHF, Microondas).
- El Protocolo de funcionamiento (ISO, propietarios, etc.).
- El tipo de regulación. Por ejemplo, existen distintas regulaciones de frecuencia y de potencia en Estados Unidos y en Europa.
- El interfaz con el sistema host (TCP/IP, WLAN, Ethernet, RS232, RS485, etc.).
- La capacidad para multiplexar varios lectores o gestionar múltiples antenas.
- La disponibilidad de una entrada/salida digital que permita conectar otros dispositivos, tales como sensores externos o circuitos de control adicionales.

FIGURA 5. Lector de proximidad (izquierda) y lector de mano (derecha), extraídos de Texas Instruments.



3.2.3 La antena del lector

La antena es el elemento que habilita la comunicación entre el lector y el transpondedor. Su diseño puede variar desde pequeños dispositivos de mano hasta grandes antenas independientes. Por ejemplo, hay antenas de puerta (uso ortogonal), polarizadas circular o linealmente, omnidireccionales, dipolos, multipolos, arrays, etc.

FIGURA 6. *Distintos tipos de antenas de baja frecuencia. De pie: antenas de puerta; en el suelo: antenas de varilla. Fuente: Texas Instruments.*



El elemento más característico de la antena es la frecuencia de operación a la que trabaja el sistema. Sin embargo, existen otra serie de parámetros físicos que son necesarios considerar: impedancia, máxima potencia permitida, ganancia, patrón de polarización. Estos elementos están a su vez influenciados por otros parámetros, como la eficiencia de la antena, el tipo de acoplamiento antena-etiqueta o la orientación de la etiqueta.

3.3 El sistema de información

De manera similar a los códigos de barras estándar, las etiquetas RFID son simplemente un modo automatizado para proporcionar datos de entrada al sistema cliente. Sin embargo, las etiquetas RFID son capaces de ofrecer también una salida (realimentación) automatizada del sistema hacia la etiqueta, permitiendo la actualización dinámica de los datos que ésta porta.

El principal objetivo de la aplicación software es gestionar y tratar los datos recibidos por el lector. El sistema debe ser lo suficientemente robusto para poder manejar las múltiples lecturas que permiten realizar los sistemas RFID, coordinar tiempos y flujos de información, gestionar los distintos eventos, soportar las realimentaciones de los usuarios, introducir las actualizaciones del sistema cuando sea requerido e integrar otros sistemas de información de la empresa (por ejemplo, ERP, WMS o POD). En todos los casos el sistema cliente necesitará modificaciones software para integrar los datos proporcionados por el lector y el programador.

4. Frecuencia de funcionamiento

La frecuencia de utilización es el elemento más determinante a la hora de desplegar un sistema RFID. Influye sobre los siguientes parámetros.

- Capacidad de almacenamiento de datos. A mayor frecuencia, mayor será la cantidad de datos que puede almacenar la etiqueta.
- Velocidad y tiempo de lectura de datos. Es el parámetro más afectado por la frecuencia. En términos generales, cuanto más alta sea la frecuencia de funcionamiento mayor será la

velocidad de transferencia de los datos. Esta circunstancia está estrechamente relacionada con la disponibilidad de ancho de banda en los rangos de frecuencia utilizados para realizar la comunicación. El tiempo de lectura dependerá lógicamente de la velocidad de lectura y de la cantidad de datos que hay que transmitir.

- Cobertura. Además de la frecuencia, la cobertura depende también de la potencia disponible en la etiqueta, de la potencia suministrada por la antena del lector y de las condiciones del entorno de la aplicación. El valor real será siempre función de estos parámetros y de la configuración final del sistema. Por este motivo, los valores que se presentan para cada banda, son meramente orientativos.
- Características de la zona de lectura: orientación de la etiqueta, influencia de los obstáculos, influencia de las interferencias.
- Costes.
- Áreas de aplicación más adecuadas.

Las distintas bandas de frecuencia que se consideran en los sistemas RFID son:

Baja Frecuencia (< 135KHz)

Estos sistemas suelen emplear etiquetas pasivas y utilizan para su funcionamiento el acoplamiento inductivo. Poseen pocos requisitos regulatorios.

Alta Frecuencia (13.56MHz)

La mayoría de estos sistemas utilizan etiquetas RFID pasivas y su principio de funcionamiento básico se basa en el acoplamiento inductivo.

Ultra Alta Frecuencia (433MHz, 860MHz, 928MHz)

Los sistemas RFID que trabajan a Ultra Alta Frecuencia basan su funcionamiento en la propagación por ondas electromagnéticas. Trabajan tanto con etiquetas activas como con pasivas.

Frecuencia Microondas (2.45GHz y 5.8GHz)

Estos sistemas basan su funcionamiento en la propagación por ondas electromagnéticas. Trabajan con etiquetas activas.

A continuación se realiza una comparativa de las características de las etiquetas, dependiendo del rango de frecuencia al que trabajen.

T1. CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES FRECUENCIAS DE FUNCIONAMIENTO

Parámetros	Baja frecuencia	Alta frecuencia	Ultra alta frecuencia	Frecuencia microondas
Cobertura	< 0.5 m <i>tag</i> pasivo	~1 m <i>tag</i> pasivo	~ 4 m <i>tag</i> pasivo ~ 10 m <i>tag</i> activo	~ 15 m <i>tag</i> activo
Velocidad de lectura de datos	Típicamente: 200 bps – 1 kbps	Típicamente: 25 kbps	Típicamente: 28 kbps	Típicamente: 100 kbps
Capacidad de almacenamiento	Menor			Mayor
Lectura en presencia de líquidos o metales	Mejor			Peor
Lectura en presencia de interferencias EM	Peor			Mejor
Coste	Menor			Mayor
Áreas de aplicación	Control de accesos, identificación de animales, gestión de bienes, identificación de vehículos y contenedores.	Gestión de maletas en aeropuertos, bibliotecas, aplicaciones logísticas en la cadena de suministros.	Trazabilidad y seguimiento de bienes y artículos. Logística de la cadena de suministros.	Control de accesos, peaje, aplicaciones logísticas, automatización en la fabricación.

5. Estado de la tecnología

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una de las tecnologías que mayor progresión está alcanzando en los últimos tiempos. Las ventajas económicas derivadas de su utilización, han provocado un crecimiento en el mercado de productos y servicios relacionados. Es este crecimiento económico, el que proporcionará reducciones en el coste y madurez en la tecnología, para poder utilizarla en aplicaciones innovadoras.

Un estudio de VDC (*Venture Development Cooperation*) señaló que en 2002 los ingresos anuales por sistemas RFID fueron de 965 millones de euros, cifra que continúa creciendo, en gran medida gracias a las aplicaciones de seguimiento de bienes. La colaboración de operadores logísticos y diseñadores de sistemas RFID ha desembocado en un creciente uso de esta tecnología en áreas como la logística, la gestión de almacenes, la gestión de bienes y la automatización industrial. Este tipo de aplicaciones trata de cubrir la gestión de materiales o artículos en áreas tan dispares como bibliotecas, laboratorios, hospitales, fábricas, comercios o lavanderías.

Respecto al estado del arte actual de la tecnología RFID, podemos decir que las etiquetas o transpondedores, incorporan una tecnología ya bien desarrollada, sobre todo a nivel del microchip. Sin embargo, en relación a la fabricación de antenas y el encapsulado de la etiqueta, todavía quedan cosas por hacer. También es necesario que las etiquetas activas reduzcan su coste, ya que resultan demasiado caras para un gran número de aplicaciones.

En relación a las bandas de frecuencia, la tecnología parece estar bien preparada para las bandas más bajas, no ocurriendo lo mismo en las bandas más altas, UHF y microondas, donde además existe una carencia de estandarización que redundará en un elevado coste para las aplicaciones que trabajan a estas frecuencias.

El precio de los sistemas RFID es otra cuestión a considerar. Aunque el coste de las etiquetas ha descendido considerablemente en los últimos años, todavía ronda los 40 céntimos de euro (etiquetas pasivas). El coste que fabricantes y suministradores se han puesto como objetivo, son los 5 céntimos de euro por etiqueta. Este valor sólo se podrá lograr mediante la mejora de las técnicas de fabricación, que permitan la construcción sencilla y económica de etiquetas, y mediante la implantación de las aplicaciones actualmente en curso que pretenden penetrar en el mercado.

Pero para que el uso de la tecnología RFID sea posible, no basta con desarrollar tecnológicamente el hardware o el software necesario, y reducir su coste, sino que además es necesario crear un sistema integrado donde lectores, etiquetas y bases de datos utilicen los mismos lenguajes y protocolos de comunicación. En resumen, es necesaria la creación de estándares.

A día de hoy, la gran mayoría de los vendedores de la tecnología RFID ofrecen soluciones propietarias que únicamente funcionan dentro de cada compañía. Esto conlleva importantes problemas de interoperabilidad. Algunas compañías se han agrupado en alianzas para estandarizar las frecuencias implicadas y los protocolos de comunicación pero, en términos generales, hay un gran desajuste entre ellos.

Esta ausencia de sistemas abiertos, ha mermado el crecimiento de la industria RFID y la esperada bajada de precios.

Por último, cabe señalar, que a pesar de los potenciales beneficios que conlleva la implantación de sistemas RFID, existe una creciente corriente en contra de esta tecnología, debido a que cualquier persona, con un lector apropiado, puede leer la información que llevan las etiquetas. En este sentido, todo sistema RFID debe protegerse, en mayor o menor medida, de lecturas/escrituras indeseadas, de la presencia de etiquetas falsas, y de la existencia de escuchas ilegales con objeto de copiar datos o falsificar etiquetas.

De cara a las organizaciones de defensa del consumidor, resulta especialmente relevante su posible intromisión en la privacidad de las personas, ya que consideran que constituye un medio peligroso para recuperar datos personales sin autorización.

La asociación estadounidense CASPIAN (*Consumers Against Supermarket Privacy Invasion and Numbering*) presenta RFID como un nuevo medio de intrusión y vigilancia de la vida privada de las personas. Asimismo, en Francia, la CNIL (*Comission Nationale de l'Informatique et des Libertés*) ha calificado la tecnología RFID como de riesgo para las libertades individuales.

Aunque es cierto que la tecnología RFID puede atentar contra la privacidad y confidencialidad de las personas, existen soluciones técnicas para controlar la utilización indeseada de los

sistemas RFID, como son los procedimientos de encriptación y autenticación. La encriptación se utiliza para asegurar que la información sólo pueda ser entendida por los usuarios de la aplicación, evitando de ese modo lecturas no deseadas. Mientras tanto, la autenticación se utiliza para que únicamente personal autorizado pueda acceder a dicha información, tanto para leer como para escribir.

6. Tipos de sistemas RFID

A grandes rasgos, los sistemas RFID se pueden dividir en cuatro categorías:

- Sistemas EAS (*Electronic Article Surveillance*).
- Sistemas de Captura de Datos. EPC (*Electronic Product Code*).
- Sistemas de Localización.
- Sistemas de Sensado y Telemetría.

6.1 Sistemas EAS

Los sistemas de vigilancia electrónica de artículos EAS constituyen un método de gran utilidad para proteger los artículos de hurtos en comercios y almacenes. Su funcionamiento se basa en el empleo de etiquetas detectables electrónicamente cuando atraviesan el área de cobertura de un lector, normalmente situado a la salida.

Estos sistemas emplean etiquetas que pueden ser electromagnéticas, magneto-acústicas, por microondas o por radiofrecuencia. Los sistemas EAS basados en identificación por radiofrecuencia, almacenan típicamente un único bit. El lector a la salida detecta dos estados: "etiqueta dentro del campo" o "ninguna etiqueta en el campo".

Esta tecnología está siendo ampliamente usada en grandes centros comerciales, donde se etiqueta cada artículo, y gracias a un lector y una gran antena localizada en cada salida del establecimiento, es posible detectar la salida no autorizada de los bienes disponibles en el establecimiento.

6.2 Sistemas de Captura de Datos

Los sistemas de captura de datos leen las etiquetas RFID, obteniendo la información asociada al objeto al que acompañan, y la reenvían al sistema de información. Las etiquetas actúan como portadoras de información a lo largo del ciclo de vida de un producto.

En este contexto, al igual que fue necesario crear estándares para unificar la información de los códigos de barras, surge ahora la necesidad de unificar el contenido de las etiquetas. El Auto-ID Center ha desarrollado lo que se conoce hoy en día como EPC (*Electronic Product Code*) o Código Electrónico de Producto, con el fin de definir un formato único para la identificación electrónica de artículos. El despliegue de una red EPC (EPCGlobal) proporcionará una

herramienta de gran utilidad para poder acceder a información sobre productos nunca antes disponible.

Esta tecnología facilita la integración de toda la cadena de suministros, permitiendo una interacción inteligente entre múltiples actores, (fabricantes o productores, proveedores, distribuidores, vendedores) que podrán disponer en todo momento de información actualizada sobre cada producto individual.

En el sector de la logística y distribución, RFID se convertirá en los próximos años en una ventaja competitiva para las compañías que la incorporen, gracias los beneficios que aportará RFID en la Gestión de la Cadena de Suministros. Estos beneficios incluyen la optimización de la gestión de almacenes, actualización automática de inventarios, posibilidad de realizar seguimiento y trazabilidad sobre los productos, eliminación de fraudes, etc.

La infraestructura de un sistema EPCGlobal está compuesta por:

- *Tags* RFID de bajo coste, con códigos EPC unívocos para cada objeto.
- Lectores de radiofrecuencia.
- Middleware Savant. Actúa de puente entre los lectores y el sistema de información, y coordina el intercambio de información en toda la cadena de suministro.
- Una base de datos automatizada ONS (*Object Name Service*) que proporciona la dirección IP del EPC. En esta dirección específica de Internet se encuentra almacenada la información del objeto que identifica el EPC en lenguaje PML (*Physical Markup Language*). Trabaja en conjunto con el Savant para acceder a servidores de datos locales o interconectarse con otros.
- Un servidor de información de producto que contiene información asociada a cada objeto estructurada en lenguaje PML y accesible a través del código EPC.
- Un lenguaje estándar PML (*Physical Markup Language*) utilizado para describir toda la información necesaria de un objeto identificado con un EPC. Esta información puede referirse a la localización, propiedades físicas del objeto o de su entorno, elementos que lo componen, fecha de fabricación y caducidad, etc.

Su funcionamiento resultaría como sigue:

1. Se identifica cada objeto con una etiqueta RFID que porta un identificador EPC.
2. Según los palets abandonan la fábrica, un lector posicionado a la salida recoge la información de las etiquetas.
3. El lector envía esta información a un ordenador *Savant*, que comprueba su EPC y envía secuencialmente peticiones al ONS a través de Internet, para averiguar dónde está

- almacenada la información asociada a ese código. Una vez localizada, actualiza su contenido (los productos han salido de la fábrica).
4. En el área de carga y descarga, el *Savant* proporciona un listado de dónde debe cargarse cada palet, ya que sabe exactamente qué contienen.
 5. Según llegan los productos al establecimiento de venta, los lectores actualizan la llegada de nuevos bienes. Los almacenes pueden gestionar y localizar su inventario automáticamente, de forma precisa y a bajo coste.
 6. Si además las estanterías son "inteligentes", esto es, si incorporan lectores pueden de forma automática detectar que quedan pocos productos y enviar peticiones.

6.3 Sistemas de Localización

La tecnología RFID puede utilizarse para localizar personas u objetos dentro de un entorno determinado. Frente a otras técnicas de localización (WiFi, Bluetooth, ultrasonidos, infrarrojos), los sistemas de localización basados en RFID presentan ciertas ventajas, como por ejemplo que no necesitan línea de visión directa con la etiqueta, son baratos y son rápidos de leer.

Sin embargo, el hecho de que la tecnología RFID no haya sido creada con propósitos de localización, provoca una serie de inconvenientes a la hora de aplicarla con tal fin. Los principales son el elevado tiempo de latencia que necesitan y su pequeña cobertura. El tiempo de latencia se refiere al tiempo que transcurre desde que una etiqueta envía su información hasta que puede volver a enviarla. En general suele ser de unos pocos segundos, pero lo suficiente para que no permita monitorizar adecuadamente un objeto móvil, que en unos segundos puede realizar varios movimientos no detectados. La duración de este intervalo se debe por un lado a la configuración de la propia etiqueta, relacionada con el mecanismo anticolidión, y por otro al tiempo que requiere el lector para calcular la posición, ya sea mediante diferencias de retardos o mediante comparación de potencias. Los vendedores de sistemas RFID, deberían proporcionar mecanismos para reconfigurar este parámetro y mejorar de ese modo la localización.

Algunos ejemplos de sistemas de localización son:

- Sistemas RTLS (*Real Time Locating Systems*). Son redes automatizadas que monitorizan continuamente la localización de bienes o personas. Utilizan típicamente etiquetas RFID activas y un sistema de posicionamiento celular para detectar la presencia y localizar las etiquetas.
- El sistema de localización se despliega como una matriz de dispositivos localizadores (lectores RFID). El tipo de sistema y cómo se implemente determinará el nivel de precisión que se puede alcanzar. El sistema permite el seguimiento de miles de etiquetas simultáneamente, haciéndolo ideal para el seguimiento de bienes en grandes instalaciones como fábricas, aeropuertos u hospitales.

- Sistemas de detección y localización. Este tipo de sistemas tratan de determinar cuándo una persona o un objeto, está dentro de una determinada área. Se pueden utilizar para definir estilos de vida, para ello bastaría con dotar a objetos y personas de etiquetas RFID. Un lector situado en cada habitación detectaría cuándo una persona ha entrado y con qué objetos, así como con cuáles sale.
- Sistemas de guiado. Se trata de sistemas de posicionamiento que utilizan transpondedores para facilitar la localización automática y ayudar al guiado de vehículos. Los lectores se sitúan en el vehículo y se conectan a un ordenador de a bordo. Por otro lado, se colocan etiquetas RFID en lugares estratégicos de paso, de modo que cuando el vehículo pase por esa zona, lea la información de la misma.
- Prototipo de sistema de localización LANDMARC. Se trata de un sistema creado para localizar objetos o personas en el interior de edificios basándose en la tecnología RFID. El principio de funcionamiento se basa en la triangulación de señales, el análisis de escenas y la presencia de etiquetas de referencia, gracias a las cuales se alcanza una buena precisión. El cálculo de la posición se realiza a partir de los niveles de potencia que los distintos lectores han recibido de la etiqueta RFID y su comparativa con las etiquetas RFID de referencia, cuya posición y potencia ha sido calibrada previamente y por tanto, es conocida.
- Sistemas de sensado y telemetría. La tecnología RFID permite la integración de sensores con el fin de monitorizar determinados parámetros físicos y enviarlos a un sistema de información, bien directamente, bien almacenando la información y descargándola posteriormente a través de un enlace de comunicaciones.

7. Aplicaciones

7.1 Despliegues en curso

Se augura un brillante futuro a la tecnología RFID, considerando el creciente interés de las grandes compañías en esta tecnología. La apuesta de los principales desarrolladores de software y hardware, como Microsoft, Intel o SAP, unida al interés de las grandes superficies, como la norteamericana Wal-Mart o la alemana Metro, están dando un gran impulso a la implantación de RFID. Ambas compañías, junto con el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) exigen a sus proveedores la utilización de etiquetas RFID desde enero de 2005. Con esta decisión se pretenden disminuir costes y prevenir robos. No cabe duda de que las grandes distribuidoras poseen un enorme poder negociador frente a sus proveedores, de modo que éstos deberán plegarse a sus exigencias.

Al mismo tiempo, existen un número cada vez mayor de empresas pioneras que están lanzando proyectos piloto relacionados con la tecnología RFID. En la siguiente tabla se exponen algunos ejemplos.

T 2.

Empresa	Tipo de empresa	Lanzamiento	Producto	Integrador
Gillette	Fabricante de bienes para el consumidor	Otoño 2003	Etiquetado a nivel de artículo	Matrics
Procter&Gamble	Fabricante de bienes para el consumidor	Primavera 2004	Etiquetado a nivel de palet.	No disponible
Hewlett-Packard	Fabricante electrónico	Primavera 2002	Impresoras, escáneres...	Hewlett-Packard
H.D.Smith Wholesale Drug Co.	Farmacéutica	No disponible	Fármacos	Matrics, Franwell, Globeranger
DoD	Agencia gubernamental	Primavera 2001	Maletas, palets, contenedores	OatSystems
Wal-Mart	Vendedora (detallista)	Primavera 2004	Etiquetado a nivel de palet	No disponible

Fuente: *RFID Solutions- Supplement to Frontline Solutions.*

7.2 Escenarios de aplicación

En los siguientes apartados, se exponen las principales áreas de aplicación de la tecnología, junto con algunos ejemplos de aplicaciones concretas, donde la implantación de este tipo de sistemas resultaría de gran utilidad. Estos ejemplos no pretenden ser una revisión completa, sino simplemente dar a conocer algunas de las posibles aplicaciones.

7.2.1 Aplicaciones de Seguridad

- Sistemas de prevención antirrobo EAS (*Electronic Article Surveillance*).
El sistema EAS, de vigilancia electrónica de artículos, trata de alertar de las posibles salidas de bienes no autorizadas de una empresa o un establecimiento.
- Sistema de inmovilización de un vehículo.
En aquellos vehículos de encendido electrónico, la incorporación de un transpondedor de código único a la llave que enciende el motor, permitirá inmovilizar el vehículo en caso de que el identificador no sea el esperado.
- Autenticación de documentos y de artículos de lujo.
En ocasiones se necesita controlar las copias originales de documentos legales o confidenciales. Adhiriendo una etiqueta RFID al documento, es posible comprobar la originalidad del mismo, así como garantizar que, por ejemplo, sólo las personas autorizadas (con su etiqueta RFID correspondiente) tienen acceso a él. Incluso puede controlarse que el documento no salga del edificio sin permiso expreso.

Lo mismo sucede con los artículos de lujo, que son enormemente susceptibles de ser falsificados. Una etiqueta RFID embebida en el artículo ofrece la posibilidad de comprobar la autenticidad del mismo.

7.2.2 Control de accesos

- Acceso controlado de vehículos o personal.
En aquellos lugares donde es necesario restringir el acceso de personas o vehículos a una determinada zona, la utilización de etiquetas RFID permite realizar un adecuado control de los mismos. Una vez que los lectores reciben la información de la etiqueta, un software comprueba si esa identificación posee los permisos adecuados para acceder al recinto.

Asimismo, es posible realizar un seguimiento de dicha persona o vehículo colocando lectores en los lugares críticos de paso o puertas de acceso. Estos lectores capturan la información correspondiente a cada etiqueta que entra dentro de su área de cobertura, registrándola en una base de datos. De ese modo se puede conocer en todo momento la hora y lugar por donde ha pasado el objeto o la persona, monitorizando sus movimientos.

7.2.3 Fabricación y Producción

- Marcaje de productos.
Dotar a los productos o herramientas con un identificador, permite controlar dónde están, cuántos hay, validar que no se trata de falsificaciones e impedir que salgan de la fábrica sin autorización.

Algunos fabricantes utilizan esta funcionalidad para detectar robos o para verificar la autenticidad del producto ante devoluciones o reparaciones. También es posible llevar un historial del mantenimiento de los productos, actualizando la información en la etiqueta del objeto cuando se realice una reparación.
- Control del proceso de transporte (por ejemplo, control de la cadena del frío).
Un sistema RFID puede asegurar que no se rompa la cadena de frío de los alimentos. Sensores adecuados comprueban continuamente que los valores de temperatura no exceden los límites prefijados, transmitiendo esa información a la etiqueta RFID.
- Control de inventario.
En fábricas, almacenes o comercios, con una simple consulta a la base de datos, se puede realizar el inventario de productos, materias primas o artículos en stock, gracias a que entradas y salidas de activos etiquetados con *tags* RFID, se registran automáticamente.
- Trazabilidad.
Las etiquetas RFID embebidas en productos durante su proceso de fabricación o producción pueden contener valiosa información sobre el producto: origen, fecha de fabricación, materiales empleados, número de serie, número de lote del producto, todo ello con el fin de mantener identificados lotes y productos a todos los niveles.

- Control de los procesos de producción.
El seguimiento de los productos etiquetados con RFID permite consultar en cualquier momento, las operaciones por las que el producto ha pasado y las que aún le restan para completar el proceso.
- Identificación automática de máquinas en un proceso de fabricación, para facilitar su monitorización.
Las máquinas empleadas durante la fabricación o producción pueden etiquetarse con *tags* RFID que recojan información sobre su trabajo, como por ejemplo, el número de bienes que procesan y el tiempo que emplean en cada uno de ellos. Con esta información el sistema de control puede comprobar el rendimiento de cada máquina de la fábrica y detectar de forma temprana funcionamientos defectuosos.

7.2.4 Transporte

- Detección e identificación de trenes, tranvías y vagones de metro.
La implantación de un sistema RFID en las redes de transporte, facilita la gestión de los vehículos. Lectores situados en las vías de un tren permiten conocer las estaciones por las que ha pasado y el tiempo empleado en ello, de modo que pueden gestionarse retrasos o incidencias de forma automática.
- Cobro automático sin parada en peajes.
La colocación de una etiqueta RFID en el vehículo permite registrarlo a la entrada del peaje, y a la salida de éste, su lectura proporciona información sobre la identificación del vehículo y el recorrido realizado. El sistema de control asocia dicho vehículo a una cuenta bancaria donde efectúa el recargo. De este modo el conductor abona el peaje sin tener que detener el coche y con cargo a su cuenta corriente.
- Transporte público.
Las tarjetas RFID inteligentes se pueden usar como medio de pago electrónico en transporte público. Permiten a un usuario acceder al medio de transporte sin necesidad de llevar dinero, ni de esperar colas en las taquillas. Lectores a la entrada del autobús o del metro determinan si el ticket es válido y descuentan el número de viajes disponible en caso de que sea necesario.

7.2.5 Logística y Distribución

Se espera que la logística y distribución de la cadena de suministros se convierta en la aplicación de RFID a frecuencias UHF que más rápida y ampliamente se extienda. La ventaja crítica que posee este tipo de sistemas consiste en la posibilidad que brinda la tecnología RFID para leer, de una sola vez, toda la información de los productos que componen un palet, por ejemplo durante operaciones como la carga y descarga.

- Identificación de contenedores en el transporte de mercancías.
La gestión de palets y contenedores retornables utilizados en el transporte de mercancías conlleva un problema de pérdida de ingresos debido a la imprecisión de los datos gestionados.

Este hecho, unido a la gran cantidad de contenedores que se manejan en los puertos de mercancías, provoca extravíos o localizaciones erróneas de los contenedores, con el consiguiente daño económico que ocasiona a sus propietarios.

Los datos requeridos para evitar esta situación pueden almacenarse en etiquetas RFID adheridas a los contenedores, de modo que pueda identificarse su origen, contenido y localización, según se mueven por los distintos puntos de la cadena de suministros, facilitando enormemente la gestión en depósitos o puertos.

- Control de stocks e inventarios en almacenes.

Uno de los mayores costes existentes en la logística se deriva de las pérdidas desconocidas provocadas por hurtos, roturas o entradas y salidas no anotadas.

El etiquetado RFID evita este problema, constituyendo un soporte único de información, asociado al artículo. La etiqueta, además de contener la identificación del artículo y evitar hurtos, podría utilizarse para actualizar automáticamente las entradas y salidas de productos, o para conocer la localización de un artículo.

- Control de mercancías valiosas (ordenadores portátiles, herramientas).

Las etiquetas RFID permiten tener localizados herramientas y equipamiento de uso compartido, con el fin, por un lado, de evitar robos, y por otro, de conocer dónde se encuentra en caso de que alguien requiera su utilización. Por ejemplo, si un trabajador necesita una herramienta, bastará consultar en una base de datos por dónde ha pasado para conocer dónde se encuentra.

- Gestión de residuos.

Un sistema RFID permite gestionar la basura que llega a los vertederos. Los camiones que llegan diariamente al lugar, poseen un identificador grabado en una etiqueta RFID. Cuando los vehículos alcanzan la entrada del vertedero, un lector lee la información del camión y la transmite a un sistema de control, que identifica el camión, anota la fecha y la hora, y otras posibles características interesantes, como el peso que transporta. Toda esta información permite llevar un registro automático de todas las entradas y salidas de los camiones, los residuos que traen y de dónde los traen.

Otro ejemplo de gestión de residuos consiste en incorporar etiquetas RFID a los cubos de basura, identificando su localización, número de contenedor, tipo de residuos que contiene, volumen, etc. Un lector incorporado a los camiones que recogen la basura leerá, cada vez que los cubos se vacían en su interior, la información relativa a dicho contenedor.

- Gestión de equipajes en aeropuertos.

RFID puede utilizarse en entornos aeroportuarios para gestionar los equipajes de los pasajeros. Desde que una maleta es facturada hasta que llega a su destino final en otro aeropuerto, atraviesa toda una serie de canales de distribución y puntos de espera a través de uno o varios aeropuertos. Actualmente, la gestión automatizada de equipajes se basa en lectores de códigos de barra, los cuales requieren una colocación manual de la maleta de modo que el lector pueda leer correctamente el código. La posibilidad de emplear infraestructuras basadas en

RFID permitirá la lectura simultánea de varias maletas por segundo, a una distancia de hasta 1.5 metros, y por supuesto sin requerir línea de vista directa.

7.2.6 Aplicaciones de seguimiento de animales

- Identificación y control de animales en ganadería.

Un uso habitual de la tecnología RFID aparece en ganadería para el control y seguimiento de ganado. Los transpondedores que identifican al animal pueden ser inyectables, de aplicación por vía oral (bolos) o con crotales electrónicos. La etiqueta RFID permite almacenar los datos correspondientes al identificador del animal, su origen, fecha de nacimiento, explotaciones por las que ha pasado y, en ocasiones, información adicional como puede ser los registros de vacunación.

Los operarios de la explotación llevan lectores portátiles para recuperar o añadir información del animal. También pueden utilizarse lectores fijos, en cuyo caso se hace pasar a los animales por el lector.

- Identificación de animales domésticos.

Ciertos animales domésticos, como los perros, portan una etiqueta RFID con un identificador. Este sistema permite, en caso de pérdida del animal, leer su identificador y localizar de forma sencilla a sus dueños.

7.2.7 Aplicaciones sanitarias

- Etiquetado de equipamiento crítico.

Permitirá tener todos los recursos localizados en cualquier momento. De este modo se ahorra tiempo y costes, ya que cuando se necesite un determinado recurso, bastará con consultar una base de datos para conocer dónde se encuentra. La precisión dependerá del número de lectores que se instalen: es posible localizar en qué planta del edificio está, en qué zona o en qué habitación.

- Seguimiento de pacientes y personal.

Las etiquetas RFID se encapsulan en pulseras de plástico que se colocan a los pacientes con el fin de proporcionar una identificación a prueba de falsificaciones. La identificación del paciente podría incluir información sobre su identidad, tratamientos realizados, contraindicaciones o alergias. De ese modo, es posible controlar los accesos a las instalaciones.

- Control de personal.

Dotando a los pacientes con un lector RFID en su habitación o en su domicilio, se puede controlar la frecuencia de las visitas del personal sanitario y el tiempo que pasan con el paciente. De este modo, se garantiza el conocimiento de las personas que han estado en contacto directo con cada paciente.

- Aplicación farmacológica.

Las etiquetas RFID embebidas en cajas de medicamentos pueden llevar información sobre los

mismos. De este modo, aquellas personas que tengan dificultad para leer, pueden capturar y escuchar esa información con un lector portátil, que use un conversor texto-habla. Esta tecnología ayuda a asegurar que los pacientes toman la medicación adecuada. Asimismo es posible alertar a médicos y farmacéuticos de la caducidad de un medicamento.

7.2.8 Aplicaciones deportivas

- Pases de esquí y gestión de parques temáticos.

En eventos deportivos y de entretenimiento, se puede utilizar un sistema RFID para validar las entradas (fecha, duración). Una impresora RFID es capaz de generar los billetes de entrada según demanda. Estos billetes pueden ser leídos en el acceso al evento o cada vez que se entre en lugares restringidos.

En estaciones de esquí este sistema ya se utiliza. Un lector valida automáticamente a la entrada de la estación el billete, de forma que cuando la persona pasa, las barreras se abren, permitiendo su acceso. Este sistema minimiza las colas y realiza una gestión automática de la cantidad de personas que entran en las pistas.

- Cronometraje de tiempos en carreras.

Controlar los tiempos de cientos e incluso miles de participantes en una carrera, como puede ser una prueba de maratón, resulta una tarea complicada. A la hora de la salida, el tiempo que se toma es el mismo para todos los corredores. Este hecho perjudica a aquellos que salen en último lugar, pudiendo existir diferencias de alrededor de un minuto debido a la gran cantidad de participantes.

La utilización de un sistema RFID simplifica enormemente la gestión de los tiempos. Sin más que proporcionar a cada participante una etiqueta RFID con su identificación, un lector en la salida y otro en la llegada registran automáticamente los tiempos de cada corredor. Además, con el fin de obtener referencias y tiempos intermedios, los lectores pueden colocarse en cualquier punto de la carrera.

Este sistema ya ha sido utilizado en diversos maratones, como el de Nueva York, Tokio, Londres o Moscú.

FIGURA 7. *Detalles de etiquetas RFID en una zapatilla y una bici, extraídas de Champiochip.*



8. Listado de acrónimos

AF	Alta Frecuencia
AIDC	<i>Automatic Identification Data Capture</i>
BF	Baja Frecuencia
CASPIAN	<i>Consumers Against Supermarket Privacy Invasion and Numbering</i>
CNIL	<i>Comission Nationale de l'Informatique et des Liberté</i>
EAS	<i>Electronic Article Surveillance</i>
EPC	<i>Electronic Product Code</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ONS	<i>Object Name Service</i>
PML	<i>Physical Markup Language</i>
POD	<i>Proof Of Delivery</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	Radio Frecuencia
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
RTLS	<i>Real Time Locating Systems</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VDC	<i>Venture Development Cooperation</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMS	<i>Warehouse Management System</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

9. Referencias

ACSIS, Inc (2003). *RFID Integration*. Octubre de 2003.

AIM Global (2001). *Radio Frequency Identification RFID. A basic Primer*. Agosto de 2001.

AIM Global (2001). *Shrouds of time. The history of RFID*.

AIM UK (2002). *RFID Compendium*. <http://www.aimuk.org/pdfs/RFID_compendium.pdf>, [acceso Mayo de 2004].

Coyle, T. (2003). *RFID and the Mainstream Supply Chain – Just what is good enough*. Matrics Inc. Febrero de 2003.

EAN Argentina (2004). *RFID/EPC. La solución global para el seguimiento y control total de los productos*.

EAN UCC (2002). *Identificación por Radio Frecuencia y Código Electrónico de Producto (RFID y EPC)*.

EAN-UCC (2002). *GTAG. White Paper on Radio Frequency Identification*. Junio de 2002.

Finkenzeller, K. (2003). *RFID Handbook. Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. Segunda Edición. Abril de 2003.

- I3W (2003). *Real Time Location System (RTLS)*. Technology Innovation Centre.
<<http://www.tic-online.com/i3w/Location/RTLLT.htm>>, [acceso Junio de 2004].
- IDI (2002). *RFID. A long survey on the technology and its potential*. Interaction Design Institute Ivrea, Italia. Marzo de 2002.
- Isoda, Y., Kurakake, S., Nakano, H. (2004). *Ubiquitous Sensors based Human Behaviour Modelling and Recognition using a Spatio-Temporal Representation of User States*. Proceedings of the 18th International Conference on Advanced Information Networking and Application (AINA'04). IEEE Computer Society. 2004.
- IST (2003). *Tag IT. RFID Innovation using Tracking and Sensing Solutions*. SIDCOM Booklet.
- Laran RFID (2004). *A Basic Introduction to RFID Technology and its Use in the Supply Chain*. White Paper. Laran RFID. Enero de 2004.
- Lowry Computer Products (2003). *Keeping Pace with RFID*.
- Microlise (2003). *RFID Tagging Technology*. Opusworld. Enero de 2003.
- Ni, L.M., Liu, Y., Lau, Y.C., Patil, A.P (2003). *LANDMARC. Indoor Location Sensing Using Active RFID*. Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCpm'03). IEE Computer Society.
- RFID Solutions (2004). *Cutting through the hype*. Supplement to Frontline Solutions. Julio de 2004.
- Robotiker (2004). *Sistemas de identificación electrónica para control y gestión de activos*. Jornadas Conectividad Inalámbrica 26 de Febrero 2004.
- Sarma, S.E., Weis S.A., Engels D.W (2002). *RFID Systems and Security and Privacy Implications*. Auto-ID Center. Noviembre de 2002.
- Schindler, E. (2003). *Location, Location, Location*. Business: the 8th layer. Junio de 2003.
- Zebra Technologies (2004). *RFID: The Next Generation of AIDC*.
<<http://www.zebra.com/whitepapers/11315Lr2RFIDTechnology.pdf>>, [acceso Mayo de 2004].

Referencias consultadas en internet

- Consulta página Web AIM Global. <<http://aimglobal.org/>>, [acceso Septiembre de 2004].
- Consulta página Web Intermec. <<http://www.intermec.com/>>, [acceso Septiembre de 2004].
- Consulta página Web RFID Journal. <<http://www.rfidjournal.com/>>, [acceso Septiembre de 2004].
- Consulta página Web Global Id Magazine <<http://www.global-id-magazine.com/>>. [acceso Septiembre de 2004].

Capítulo 3

WiMAX: Aplicaciones y Perspectivas

Luis Carlos Fernández González
Ingeniero de Telecomunicación
<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

1. Introducción (76)
2. WiMAX Forum (76)
3. Estándares WiMAX (77)
4. Relación de WiMAX con otras tecnologías inalámbricas (81)
 - 4.1. WiFi (81)
 - 4.2. WiFi "Ampliado" (82)
 - 4.3. Tecnologías de Redes Móviles (83)
 - 4.4. Mobile-Fi (IEEE 802.20) (84)
5. Tecnologías fundamentales en el 802.16a (87)
6. Topologías de Red (89)
7. Proyecto de Handoff (90)
8. Seguridad (91)
9. Niveles de Servicio (92)
10. Papel de WiMAX en las comunicaciones inalámbricas (92)
 - 10.1. Países desarrollados (93)
 - 10.2. Países en vías de desarrollo (95)
11. Aspectos Regulatorios (95)
12. Operadores y fabricantes (96)
13. Visión de futuro (98)

1. Introducción

La tecnología inalámbrica para conexiones en banda ancha se lleva utilizando desde hace años tanto en entorno urbano como en entorno rural. El éxito de estas experiencias no ha sido especialmente significativo por el momento, dado que los costes de licencias y equipamiento ligados a los problemas de operación y mantenimiento han hecho que su desarrollo, frente a las alternativas cableadas, haya sido muy limitado.

El nuevo estándar desarrollado por el IEEE, IEEE802.16 parece prometer un nuevo escenario para las tecnologías de acceso inalámbrico en banda ancha. No se trata de que se hayan desarrollado nuevas tecnologías (las tecnologías están hoy disponibles), se trata de la aparición de un nuevo estándar que garantiza la interoperatividad entre equipos que en la actualidad utilizan tecnologías propietarias.

Las palancas que impulsarán el desarrollo de este nuevo estándar se basan en la posibilidad de trabajar en bandas de frecuencia no licenciadas, así como en los inferiores costes de las infraestructuras de red y equipamiento de usuario.

WiMAX pretende desarrollar un estándar interoperable entre fabricantes, de modo que se propicie un fuerte desarrollo del mercado.

2. WiMAX Forum

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es el nombre asociado a los estándares IEEE 802.16a/Rev d/e. El estándar 802.16 es también conocido como "*Air Interface for Fixed Broadband Access Systems*".

El Forum WiMAX fue creado en el año 2001 por Nokia Corp., Ensemble Communications Inc y el Orthogonal Frequency Division Multiplexing Forum. En el año 2003, Intel se incorpora al Forum WiMAX como uno de los miembros más activos.

Son miembros del WiMAX Forum :



Fujitsu Microelectronics America, Inc., Wi-LAN Inc., ArrayComm, Inc., Nokia, Trapeze Networks, Inc., WaveIP Ltd., Aperto Networks, Alvarion Ltd., Harris Corporation, InterDigital Communications Corp., iCODING Technology Inc., Conexant Systems, Inc., Texas Instruments, Inc., Hexagon System Engineering, Runcom Technologies Ltd, Samsung Electronics Co., Ltd., BeamReach Networks, Inc., Airspan, Runcom Technologies Ltd, Broadcom Corp., Wavesat Wireless Inc., Redline Communications Corp., Intel Corporation, Marvell Semiconductor, Vectrad Networks, NIST, MacPhy Modems, Georgia Institute of Technology, Global Communications Devices, Inc., E. A. Robinson Consulting, Inc., Ensemble Communications, Comtech AHA Corp., Medley Systems Ltd., Proxim Corporation, CyberTAN Technology, Inc., Radiant Networks PLC.

Entre todos los miembros de la Alianza destaca Intel; la aparición de un importante fabricante de semiconductores que incluye en sus planes el desarrollo de nuevos chips WiMAX, así como el anuncio de importantes sumas invertidas en torno a esta tecnología, permite que aumenten las expectativas sobre el desarrollo de este estándar. La incorporación de Intel, supone un antes y un después para WiMAX.

Intel ha anunciado nuevos desarrollos para nuevas versiones del Chipset Centrino que incorporarán WiMAX, al tiempo que Nokia ha anunciado que está trabajando en el desarrollo de nuevas baterías, y en otras tecnologías que le permitirán desarrollar teléfonos móviles con tecnología WiMAX para el 2005.

Así, los objetivos del WiMAX Forum (1) se centran en:

- Conseguir la interoperabilidad entre los productos de diferentes fabricantes, de forma que se realicen procesos de certificación funcional más allá del cumplimiento del estándar. Esto conducirá a una mayor seguridad por parte de los usuarios a la hora de utilizar dispositivos procedentes de fabricantes diferentes.
- Reducir los costes. Si el estándar se consolida, muchos fabricantes optarán por soluciones homogéneas que garanticen la interoperatividad y mayores volúmenes de producción, gracias a la utilización de una tecnología base homogénea, lo que provocará una minimización de costes.
- Promover una marca que difunda en el mercado un estándar masivo en comunicaciones inalámbricas.
- Potenciar acciones de marketing que conviertan a WiMAX en el estándar para la banda ancha en ámbito metropolitano, a imagen de lo que hoy es WiFi para entornos de Área Local.

3. Estándares WiMAX

A pesar de que el proyecto del estándar IEEE802.16 se inició en 1998, el trabajo principal se desarrolló entre los años 2000-2003, dentro de un proceso de consenso abierto. El objetivo fue desarrollar un estándar para conseguir un desarrollo del acceso en banda ancha, inalámbrico, masivo y a los menores precios posibles, a través de la creación de un estándar para el acceso inalámbrico en ámbito metropolitano.

WiMAX engloba tres versiones del estándar IEEE802.16, cada una de ellas con sus propias características y campo de aplicación:

IEEE802.16: Aplicación a conexiones punto-multipunto, con antenas direccionales y sin movilidad. Las antenas permanecen fijas. Esta versión del estándar se ha diseñado para bandas entre 11 y 60 GHz. Los primeros equipos cumpliendo el estándar WiMAX aparecerán durante el primer trimestre de 2005.

(1) Podemos encontrar más información en: *WiMAX Forum*: <http://www.wimaxforum.org/home>.

IEEE802.16a: Aplicación a conexiones inalámbricas en la banda de 2 a 11 GHz. En esta banda existen frecuencias que no requieren licencia de operación, las denominadas "bandas de frecuencia no licenciadas". En estas frecuencias es posible trabajar sin línea de vista directa, por lo que podremos utilizar antenas no direccionales, en ocasiones de interior y auto instalables.

IEEE802.16e: Añade movilidad, prometiendo comunicaciones en vehículos a 120 Km/h.

Desde el principio, se ha buscado en el desarrollo del estándar la compatibilidad con los estándares europeos, algo que no ocurrió con el 802.11a.

T 1. RELACIÓN DE ESTÁNDARES EUROPEOS Y AMERICANOS PARA REDES INALÁMBRICAS

U.S.	Tipo de Red	Europa
IEEE 802.20 (Mobile-Fi)	WAN	3GPP,EDGE
IEEE 802.16 (WiMAX)	MAN	ETSI HIPERMAN, HIPERACCESS
IEEE 802.11(WiFi)	LAN	ETSI HIPERLAN,
IEEE 802.15 (Bluetooth)	PAN	ETSI HIPERPAN,

El primer estándar 802.16 se publicó en abril de 2002, y se encuadró como un estándar orientado a conexiones inalámbricas fijas, en condiciones de visión directa para la "última milla". Se enfocó para el uso eficiente del espectro en varias bandas licenciadas entre 10 y 66GHz.

La siguiente versión del estándar, 802.16a fue publicada en abril de 2003, y esta versión es la que ha sido rápidamente adoptada como tecnología predominante en BWA (*Broadband Wireless Access*). Utiliza conexiones punto-multipunto así como la posibilidad de redes malladas, y no requiere visión directa entre la estación base y el equipo terminal del cliente final. Concretamente, trabaja internacionalmente en las bandas licenciadas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, en EEUU, 2.5-2.7 GHz y en las bandas no licenciadas en 2.4 GHz y 5.725-5.825 GHz.

A pesar de que, incluso con la versión móvil 802.16e, WiMAX no puede facilitar una cobertura tan amplia como la que proporcionan las soluciones 2G/3G, la tecnología permite mayores velocidades, y una cobertura suficiente, por lo que podría ser una alternativa/complemento en muchas zonas a las redes celulares.

Un aspecto importante del 802.16x es que define una capa MAC (*Media Access Control*) que soporta especificaciones de diferentes capas físicas (PHY). Esta característica es fundamental a la hora de que los fabricantes de equipos puedan diferenciar ofertas, sin dejar de ser interoperables, para que puedan adecuar los equipos en una determinada banda de frecuencias.

T2. COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO ESTÁNDARES IEEE

	802.11	802.16	802.16a	802.16e	802.20
Status	Complete	Dec. 2001	Jan. 2003	Jan. 2004	ETA 05-06
Target App.	LAN	MAN	MAN	MAN	WAN
Range	Up to 300ft. optimized for indoor LAN	Up to 5 miles Average Cell Radius 1-3 mi	Up to 25 miles Average Cell Radius 4-6 mi	Average Cell Radius 1-3 mi	
Channel Conditions	LOS when outdoors	LOS	nLOS	nLOS	nLOS
Spectrum	2.4 GHz & % GHz- Unlicensed	10-66 GHz Licensed	2-11 GHz Licensed	2-6 GHz Licensed and Unlicensed	<3.5 GHz Licensed
Mobility Support Roaming	Portable- Local Roaming	Fixed	Fixed	Pedestrian Mobility-	Vehicular Mobility-Global
Channelization	20 MHz	Scalable 1.5- 20 MHz	Scalable 1.5- 20 MHz	Scalable 1.5- 5 MHz w/ sub- channels	1.25 or 5 MHz
Spectral Efficiency	<2.7 bps/Hz	<4.8 bps/Hz	<3.75 bps/Hz	<3 bps/Hz	<1.25 bps/Hz
Bit Rate	54 Mbps (20 MHz BW)	<134 Mbps (20 MHz BW)	<75 Mbps (20 MHz BW)	15 Mbps (20 MHz BW)	<6 Mbps (20 MHz BW)

Fuente: Intel Wireless Division.

Tal como aparece en la tabla 2, WiMAX contempla los estándares 802.16, 802.16a y 802.16e. Los tres tienen un ámbito de aplicación en *Metropolitan Area Networks* (MAN), si bien el alcance dentro de cada célula es diferente. Así, con el 802.16 se consiguen alcances de 5 millas (del orden de 8 Km) o 30 millas con antenas direccionales (48 Km). El radio de la célula podría situarse entre 1 y 3 millas (1,6-4,8 km). El alcance del 802.16e se sitúa por debajo de 3 millas (4,8 km). En el caso del 802.16a la cobertura de la célula puede llegar a situarse entre 4 y 6 millas (6,4-9,6 km). Tanto el 802.16a como el 802.16e pueden trabajar en condiciones de NLOS (*Non Line Of Sight*, sin visión directa).

La capacidad de tráfico total por frecuencia se sitúa en un máximo de 134 Mbps para el 802.16, 75 Mbps para el 802.16a y 15 Mbps para el 802.16e. El ancho de banda de cada canal se encuentra entre 1,5 y 20 MHz. Lógicamente, las velocidades máximas se consiguen con el canal de mayor ancho de banda.

En cuanto a las bandas de frecuencia, el 802.16 trabaja entre 11 y 60 GHz, el 802.16a entre 2 y 11 GHz y el 802.16e por debajo de 3,5 GHz. Tanto el estándar IEEE802.16a como el IEEE802.16e pueden utilizarse en bandas no licenciadas, lo que abre un campo de nuevas posibilidades de aplicación.

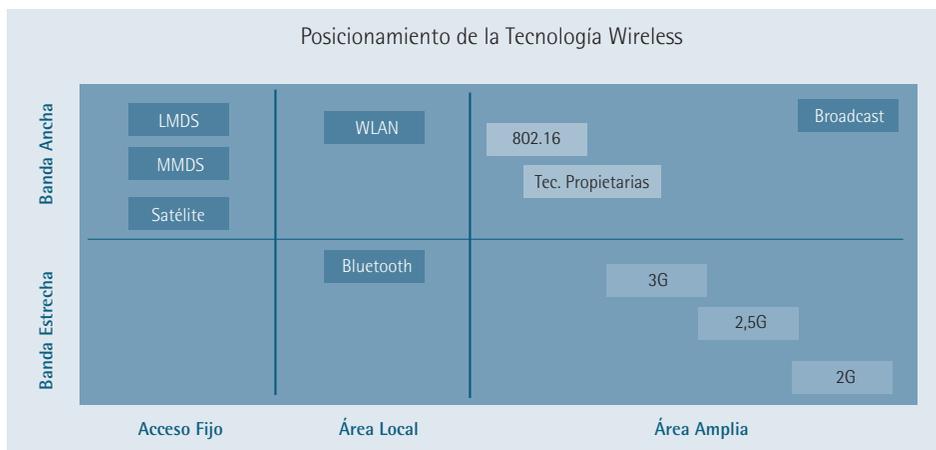
T3. COMPARATIVA ENTRE WIFI Y WiMAX

	802.11	802.16	Technical
Range	<ul style="list-style-type: none"> · Optimized for users within a 100 meter radius · Add acces points or high gain antenna for greater coverage 	<ul style="list-style-type: none"> · Optimized for typical cell size of 7- 10 km · Up to 50 km range · No "hidden node" problem 	<ul style="list-style-type: none"> · 802.16 Phy tolerates 10 more multi-path delay spread than 802.11
Coverage	<ul style="list-style-type: none"> · Optimized for indoor enviroments 	<ul style="list-style-type: none"> · Optimized for outdoor enviroments (trees, buildings, users spread out over distance) · Standard support for advanced antenna techniques Et mesh 	<ul style="list-style-type: none"> · 802.16: 256 OFDM (vs. 64 OFDM) · Adaptive modulation
Scalability	<ul style="list-style-type: none"> · Channel bandwidth for 20 Mhz is fixed 	<ul style="list-style-type: none"> · Channel b/w is flexible from 1.5 Mhz to 20 Mhz for both exempt bands · Frecuency re-use · Enables cell planning for commercial service providers 	<ul style="list-style-type: none"> · Only 3 non- overlapping 802.11b channels; 5 for 802.11a · 802.16: limited only by available spectrum
Bit rate	<ul style="list-style-type: none"> · 2.7 bps/Hz peak data arte; Up to 54 Mbps in 20 Mhz channel 	<ul style="list-style-type: none"> · 3.8 bps/Hz peak data rate; Up to 75 Mbps in a 20 Mhz · 5 bps/ Hz bit rate; 100 Mbps in 20 Mhz channel 	<ul style="list-style-type: none"> · 802.16: 256 OFD; (vs. 64 OFDM)
QoS	<ul style="list-style-type: none"> · No QoS support today · 802.11e working to standardize 	<ul style="list-style-type: none"> · QoS designed in for voice/ video, differenciated services 	<ul style="list-style-type: none"> · 802.11: contention-based MAC (CSMA) · 802.16: grant request MAC

Fuente: Intel Wireless Division.

WiFi y WiMAX son parecidos tecnológicamente, aunque WiMAX incorpora facilidades no previstas en WiFi; entre ellas destaca la Calidad de Servicio (QoS), no contemplada en el 802.11, salvo en la versión en desarrollo 802.11e.

Podríamos concluir que WiMAX dispone de características de un equipo de operador de servicio de telecomunicaciones: mayor alcance, mayor ancho de banda, y capacidad de prestar diferentes calidades de servicio por perfiles de usuario.

FIGURA 1. *Tecnologías de Acceso Inalámbrico.*

Como se muestra en la *figura 1*, 802.16 y las actuales tecnologías propietarias cercanas al 802.16 se posicionan con mayor ancho de banda que las tecnologías de redes móviles, aunque con menor alcance.

T4. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS WIRELESS. EFICIENCIA ESPECTRAL

	Ancho de banda del canal	Velocidad	Eficiencia en Bits/Hz
802.11a	20 MHz	54 Mbps	2,7 bps/Hz
802,16a	10,20 MHz 3,5, 7, 14 MHz	70 Mbps	5 bps/Hz
EDGE 200 Khz	384 Kbps	1,9 bps/Hz	
CDMA2000	1.25 MHz	2 Mbps	1,6 bps/Hz

Como aparece en la tabla 4, los nuevos estándares del IEEE en tecnología inalámbrica de banda ancha poseen una eficiencia espectral muy alta. Así, el estándar 802.11a alcanza los 2,7 bps/Hz trabajando a velocidades de 54 Mbps. El estándar 802.16a alcanza los 5 bps/Hz trabajando a 70 Mbps, mientras que tecnologías como el EDGE, o el CDMA2000 se sitúan en 1,9 y 1,6 bps/Hz respectivamente.

4. Relación de WiMAX con otras tecnologías inalámbricas

4.1 WiFi

El Fórum WiMAX presenta al 802.16 como una tecnología complementaria al estándar 802.11. En cierto modo esto es así, dado que WiFi proporciona accesos en ámbito de Red Local y, a

medida que WiFi se desarrolla, WiMAX podría ser una solución en la creación de redes *backhaul* (2) para la interconexión de *hotspots* WiFi. Al mismo tiempo, WiMAX hace redundantes los esfuerzos de muchos entusiastas de la tecnología WiFi, que tratan de ampliar su alcance y mejorar otras características. WiMAX tiene la oportunidad de ofrecer en comunicaciones inalámbricas características de alcance, soporte multimedia, fiabilidad y velocidad que WiFi nunca podrá lograr.

- El 802.16 es un estándar altamente complejo que contiene desde su inicio muchas de las características que están tratando de ser adaptadas en WiFi. WiFi fue concebido para ser un estándar muy simple y orientado al gran consumo, los intentos de ampliación de prestaciones pretenden desarrollar algunas características para las que no fue concebido. WiMAX es una tecnología para Operador de Telecomunicaciones.
- Mientras que el 802.16 ha sido concebido como una tecnología de backend, el IEEE802.16e tiene la capacidad para ser adaptado a ordenadores personales en un entorno de movilidad, y posee características de calidad de servicio capaces de soportar voz. De aquí el interés de Intel y sus planes para el Centrino.
- WiMAX tiene prestaciones que permiten alcanzar mayores distancias de cobertura. La especificación 802.16a puede usar diferentes alternativas en capa física (PHY) -la alternativa dominante es la modulación OFDM de 256 puntos-, proporcionando alcances superiores a las WLANs, que se basan en una modulación OFDM de 64 puntos.
- Otra diferencia del 802.16 frente al 802.11 es el uso de "time slots", permitiendo una mayor eficiencia espectral. Se espera que gracias a la colaboración de fabricantes de productos de mercado masivos, se conseguirán economías de escala similares a las alcanzadas con dispositivos WiFi WLAN, lo que redundará en unos precios más competitivos para el equipamiento WiMAX que su alternativa "cableada".
- Los sistemas basados en la versión móvil del estándar (802.16e), que deberá estar en el mercado hacia finales del 2005, en torno a seis meses más tarde que las soluciones inalámbricas "fijas", permitirán el despliegue de redes inalámbricas de largo alcance y tendrán un mayor potencial que los *hotspots* WiFi a la hora de proporcionar cobertura ubicua para competir con las redes celulares (móviles).

Bien sea de una forma aislada o bien en combinación con WiFi, WiMAX se presenta como una tecnología capaz de desafiar, en ciertos entornos, a las redes móviles de una manera realista.

4.2 WiFi "ampliado"

Algunas compañías tratan de "estirar" WiFi, añadiéndole nuevas prestaciones, como alternativa a trabajar con WiMAX. Estas compañías tratan de encontrar una solución para entornos metropolitanos en base a un WiFi extendido. Hay varias aproximaciones para ampliar WiFi en

(2) *Backhaul* es el backbone o red de transporte.

alcance y capacidad, pero todas ellas están basadas en extensiones propietarias. Los defensores de estas soluciones tienen la ventaja de poder ofrecer una solución "ahora", particularmente a las empresas, pero con la velocidad de desarrollo de WiMAX este argumento dejará muy en breve de tener valor.

Hay muchos fabricantes que esperan resolver las limitaciones de capacidad y alcance de WiFi, junto con sus debilidades cuando opera en punto-multipunto, o en redes malladas "mesh mode". Existe una iniciativa de desarrollo de un nuevo estándar en el IEEE para redes malladas IEEE 802.11x, que podría tener repercusión en el mercado en el caso de que el desarrollo de WiMAX tuviese un retraso sustancial.

De las soluciones actualmente disponibles para ampliar WiFi, Vivato ofrece, posiblemente, el producto de mayor calidad. No obstante, está enfocado a redes inalámbricas para empresas. Paralelamente, Vivato ha dirigido su oferta hacia operadores WISP (*Wireless Internet Service Provider*), ofreciéndoles puntos de acceso a 2,4 GHz, que mejoran WiFi gracias al uso de antenas inteligentes y tecnologías propietarias, operando en distancias equivalentes a WiMAX (alrededor de 50Km, trabajando a velocidades de 10Mbps y conexiones punto a punto).

Algunos pequeños operadores han elegido el camino WiFi en un esfuerzo para desplegar rápidamente redes "fijas" inalámbricas. BroadBand Central está acelerando su "road map" para ofrecer conexiones inalámbricas en banda ancha a través de WiFi. La compañía despliega puntos centrales que proporcionan unos 2 Km de alcance.

Otras compañías que utilizan WiFi ampliado, se centran en mejorar la capa de control de acceso (MAC), en lugar de trabajar con antenas inteligentes, como Vivato y otros especialistas en BWA. Algunos de estos operadores han conseguido precios para el despliegue de la Red por debajo de lo esperado inicialmente para WiMAX: alrededor de 300 dólares por usuario (WiMAX arrancará en torno a los 500 dólares por usuario). Sin embargo, y dado que estas tecnologías son propietarias, creadas desde compañías "start-up", tienen muchas limitaciones comparadas con WiMAX. Parece improbable que muchos operadores las elijan como alternativa a WiMAX.

La aproximación más constructiva para WiFi y WiMAX es la siguiente: ambas tecnologías son verdaderamente fuertes cuando trabajan juntas. Algunos operadores móviles están pensando en ofrecer una tarjeta PCMCIA capaz de realizar roaming entre 802.11 y servicios de banda ancha. Es de esperar que la integración por parte de Intel de WiMAX en las futuras versiones del Centrino, con roaming multired (WiFi, WiMAX, GPRS,...), revolucionará la experiencia de usuario.

Al final ambas tecnologías (WMAN, WLAN) coexistirán de una forma creativa, siendo WiMAX la tecnología predominante en WMAN. Las alternativas no estándar caerán en el olvido.

4.3 Tecnologías de Redes Móviles

La FCC (Federal Communications Commission, EEUU) está liberando progresivamente más espacio radioeléctrico para redes inalámbricas, eliminando las "concesiones" detentadas por Sprint, Worldcom, la Iglesia Católica y las Universidades. Este tipo de movimientos amenazan el valor del activo de las licencias sobre el espectro de los operadores 3G.

La competitividad comercial de los servicios móviles podría desplazarse hacia bandas no licenciadas (en EEUU el 25% del espectro concedido a los operadores móviles fue a coste cero al comienzo de los 90). La FCC está siendo neutral en la lucha sobre si se debe o no licenciar el espectro. En cualquier caso, se está trabajando en la apertura no licenciada de gran cantidad de espectro, destinado especialmente a nuevos entrantes, gracias al éxito de WiFi.

En Europa se está actuando mucho más lentamente. En un futuro, es de esperar que los estados europeos vayan adoptando gradualmente una dirección similar y liberen mayores cantidades de espectro, sacrificando el beneficio obtenido por la "subasta" de licencias a cambio del estímulo esperado en el desarrollo económico y mejora de las comunicaciones móviles.

En ciertos ámbitos, WiMAX es una seria amenaza para la 3G, debido a sus capacidades de ancho de banda, alcance y capacidad para soportar voz con calidad de servicio. Estas características lo convierten en una alternativa tecnológica a las redes móviles, en un modo inimaginable para WiFi. Los operadores móviles están integrando WiFi en sus ofertas sin demasiado interés, tratando de controlar tanto el espectro licenciado, como los *hotspots* no licenciados. Estas compañías podrían tener mayores dificultades a la hora de acomodar WiMAX. Como ha ocurrido con WiFi, les puede resultar más interesante canibalizar parte de su propia oferta, antes que dejar que operadores independientes lo hagan por ellos, especialmente cuando los "economics" y la demanda por mayores velocidades de comunicación les fuerzan a incorporar IP en sus sistemas.

Dado el lento progreso de 3G, especialmente en Europa, y el proceso racionalizado de desarrollo de WiMAX (poco usual), los operadores móviles están empezando a incluir en sus desarrollos estratégicos el análisis de amenazas y oportunidades de WiMAX.

4.4 Mobile-Fi (IEEE 802.20)

Las batallas por los estándares se suelen librar en comités técnicos y suelen despertar poco interés entre los consumidores de tecnología. Una vez que los fabricantes convierten las especificaciones en productos reales, aparece la guerra de marketing. Hasta entonces, los consumidores suelen estar ajenos al proceso.

Los estándares inalámbricos del IEEE son una excepción a lo expuesto anteriormente. La velocidad relativa con la que estos estándares están siendo ratificados y convertidos en productos comerciales, junto con el interés despertado por WiFi y sus versiones asociadas, ha conseguido que varias especificaciones 802.xxx estén en el foco de interés del mercado.

Quizás el factor clave radique en que los fabricantes están viendo, por primera vez después del boom de Internet, una nueva fuente de ingresos en un estado lo suficientemente temprano como para que les permita aprovechar la oportunidad de tomar su control. En el caso del estándar móvil del IEEE 802.20 o Mobile-Fi, algunos nombres poderosos están sintiéndose amenazados en lugar de "apasionados por esta tecnología", lo que hace probable que a esta especificación en particular no se le permita alcanzar la importancia que se le ha dejado alcanzar a WiFi o WiMAX.

Los grandes nombres están maniobrando detrás de estos estándares, que anuncian ser complementarios, propiciando colisiones que derivan en discusiones técnicas en los comités. Esta situación podría ser la cobertura de una seria batalla por la influencia sobre la evolución del mercado de las comunicaciones inalámbricas.

Por un lado tenemos WiMAX, por otro el 802.20; el segundo de estos estándares está específicamente pensado para transportar tráfico IP nativo para un acceso totalmente móvil de banda ancha, ofreciendo tiempos de latencia de 10 ms (milisegundos), incluso cuando el vehículo se desplaza a gran velocidad, comparado con los tiempos de latencia de 500 ms de la tecnología 3G. Pero el 802.20 tiene tres debilidades críticas:

- WiMAX está en pleno desarrollo.
- WiMAX dispone de un apoyo superior por parte de los fabricantes.
- Los operadores móviles son mucho más "favorables" a WiMAX que a Mobile-Fi.

4.4.1 Tecnología del 802.20

La misión del 802.20 consiste en el desarrollo de un interfaz aéreo, basado en paquetes y optimizado para transportar servicios IP, que, según sus impulsores: "Permitirá el despliegue factible de redes inalámbricas de banda ancha, a nivel mundial, *always-on*, interoperables, que cumplan con las necesidades de los mercados residencial y de negocios".

El estándar está previsto para trabajar en bandas licenciadas de 3,5GHz y promete soportar un mayor número de usuarios simultáneos que los sistemas móviles, proporcionando una mayor eficiencia espectral y menor latencia. Mark Kelener, director ejecutivo de Flarion, la compañía que más ha contribuido técnicamente al desarrollo del estándar, ha declarado que Mobile-Fi tendrá el doble de eficiencia espectral que los sistemas celulares, ofreciendo baja latencia y calidad de servicio, de modo que proporcionará una experiencia de usuario similar a la de las conexiones cableadas.

El estándar ha sido pensado desde el principio para soportar comunicaciones IP, VoIP (voz sobre IP), aplicaciones nativas IP y aplicaciones de respuesta rápida como juegos en red, transacciones financieras, etc.

Las tecnologías 3G también incorporan soporte de IP, pero adecuando sus tecnologías y dejando la integración total IP a la llegada de 4G. Utilizan una aproximación basada en eventos en lugar de paquetes. Una ruta basada en eventos implica una mayor latencia y menor fiabilidad, lo que obliga a realizar adaptaciones en 3G y a utilizar una arquitectura centralizada que va en contra de la naturaleza de las arquitecturas distribuidas IP.

4.4.2 Solape MobileFi-WiMAX

En sus definiciones iniciales, WiMAX apareció como una tecnología pensada para el acceso en la última milla, mientras que el 802.20 trataba de concentrar esfuerzos para proporcionar una solución de banda ancha móvil IP. Incluso la variante móvil 802.16e se veía al principio como

una extensión, en lugar de ser un estándar totalmente móvil. El papel de WiMAX se ha venido ampliando considerablemente, empujado en parte por la proliferación de WiFi público.

WiMAX ha incrementado las prestaciones contempladas en sus especificaciones y expectativas iniciales cubriendo también el mundo móvil. Para Intel es el modo de conseguir que los ordenadores portátiles inalámbricos, así como otros dispositivos, sean más atractivos en el mercado, incrementando sus capacidades en base a una tecnología mucho más poderosa que WiFi. Para Nokia, la decisión de apoyo a WiMAX tiene incluso más relevancia. Nokia ha prometido terminales móviles WiMAX para el 2005.

WiMAX ha usurpado gran parte del territorio Mobile-Fi. El esfuerzo inicial en el desarrollo del 802.20 fue realizado por algunas compañías pioneras en la cuarta generación de tecnologías IP inalámbricas, como Flarion y Navini Networks, que rechazaron inicialmente cualquier relación con el 802.16e, argumentando su deseo de desarrollar una solución pura IP.

La lucha política comenzó a clarificarse en una reunión del 802.20 en Junio del 2003. Algunos ejecutivos de Lucent, NTT DoComo (así como Motorola) se convirtieron en los líderes del grupo de trabajo del IEEE 802.20, reemplazando a los miembros representantes de Navini, Flarion y ArrayComm. Navini llegó a declarar que los nuevos "jefes", particularmente NTT, habían dado un "golpe político" para arrebatarse el control de las tecnologías 4G y asegurar que el 802.20 no superaría a las tecnologías 3G ni WiMAX. Aparentemente los miembros del 802.16 y los representantes de los operadores móviles consiguieron "derecho de voto" y lo utilizaron para colocar a sus propios candidatos.

4.4.3 Hostilidad desde la Industria 3G

Existen dos aspectos importantes en contra del 802.20: el primero, como hemos indicado, es el 802.16e, que lejos de intentar coexistir con el estándar Mobile-Fi, compite apoyado por compañías importantes que tratan de conseguir el control sobre estas tecnologías. El segundo aspecto proviene de la industria 3G. WiMAX y WiFi pueden ser vistas por los operadores móviles como un servicio integrado con 3G para entrar en el mercado de la última milla. Ésta es la posición que están adoptando la mayoría de los operadores móviles. Los operadores parecen pensar que es mejor aprovechar estas tecnologías en beneficio propio que dejar que otros entrantes las utilicen en contra de su actual negocio.

Respecto al 802.20, la situación es diferente: podría ser también igualmente adoptado por los operadores móviles, y algunos han realizado pruebas piloto para el acceso IP inalámbrico con socios como ArrayComm, como un potencial complemento de 3G, o como un modo de reducir inversiones en 3G. Sin embargo, los grandes operadores están temerosos de que, a medida que se ofrezca espectro a menores precios (especialmente en USA), nuevos entrantes o pequeños operadores pudieran desplegar redes de bajo coste 802.20 que podrían ser más atractivas para el usuario final que las redes 3G.

Los grandes "players", como NTT DoComo, están desarrollando la tecnología 4G (que integra IP y comunicaciones móviles), siguiendo sus propios protocolos CDMA y TDMA, en los cuales han realizado grandes inversiones, y disponen además de una amplia experiencia.

Únicamente Nextel se ha involucrado positivamente en el 802.20 desde el principio, probablemente por su fuerte alianza con Motorola. Navini y otros fabricantes declaran que los jugadores en 3G han acaparado el comité IEEE con la determinación de matar a Mobile-Fi antes de su nacimiento.

5. Tecnologías fundamentales en el 802.16a

OFDM

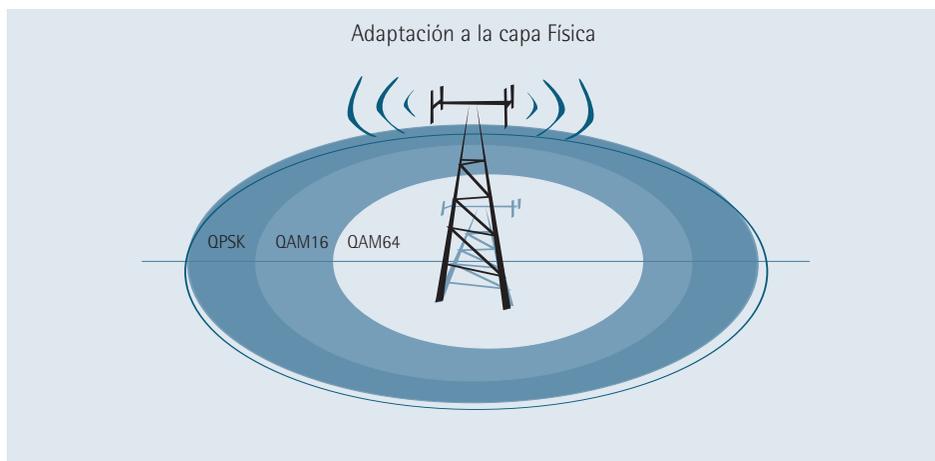
OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) es una tecnología madura que podemos encontrar en TV digital, así como en servicios de nueva generación. OFDM permite la transmisión múltiple de señales sobre cable o radio, dentro de frecuencias con espaciamiento ortogonal para evitar interferencias. Esta técnica está siendo utilizada también en el 802.11a.

El 802.16a tiene tres opciones para la capa física (PHY):

- OFDM con 256 subportadoras. Ésta es la única opción soportada por ETSI en Europa (HiperMAN).
- OFDM con 2048 subportadoras.
- Portadora única.

Una de las características más relevantes de WiMAX es su capacidad en la capa física de adaptar el tipo de modulación a la característica de la conexión específica del enlace. Así, para conexiones cercanas emplea 64QAM, consiguiendo una mayor velocidad y robustez frente a interferencias. En conexiones de mayor distancia puede seleccionar 16QAM o QPSK, consiguiendo un mayor alcance a costa de una menor velocidad.

FIGURA 2. Capacidad de Adaptación del WiMAX.



WiMAX debe de ser capaz de soportar un servicio de comunicación fiable sobre grandes distancias utilizando terminales de interior y tarjetas tipo PCMCIA para PC. Estos requisitos han de cumplirse con una potencia de transmisión limitada, compatible con las limitaciones impuestas por los organismos de control sanitario y regulatorio. El empleo de "sub channeling" en los enlaces ascendentes (*uplink*), así como la utilización de antenas inteligentes en la estación base, consiguen superar las limitaciones impuestas a la potencia.

La modulación en la capa física PHY está basada en OFDMA, en combinación con una capa MAC centralizada para la asignación optimizada de recursos y soporte de calidad de servicio (QoS). Los diferentes tipos de servicios (VoIP, servicios en tiempo real y no tiempo real, *best effort*) pueden definirse de forma individual al perfil del usuario. La capa física OFDMA PHY está igualmente adaptada a entornos de propagación sin línea de visión directa (NLOS) en la banda entre 2 y 22 GHz.

Este tipo de modulación es bastante robusta a las interferencias producidas por la dispersión de retardos debidos a las reflexiones generadas en ambientes de NLOS. Simultáneamente se emplea una modulación adaptativa, aplicada a cada suscriptor de manera individual, de acuerdo con la capacidad de su canal específico. OFDMA puede proporcionar una eficiencia espectral en torno a 3-4 bits/s/Hz.

Soporte para Antenas Inteligentes

Una característica muy importante del WiMAX es el soporte de varias técnicas avanzadas de antenas, que son esenciales para lograr una alta eficiencia espectral, fiabilidad y capacidad:

- "Beam forming" utilizando antenas inteligentes, que proporcionan una ganancia adicional que permite cubrir grandes distancias o incrementar la cobertura en interiores, reduce la interferencia entre células y mejora la reutilización de frecuencias.
- Utilización de transmisión por diversidad y MIMO (Multiple Input Multiple Output), utilizando antenas múltiples y las reflexiones para mejorar la fiabilidad y la capacidad.

T 5. RESUMEN DE ALCANCES Y CAPACIDADES

Entorno de Aplicación	Tamaño de la Célula	Capacidad
Urbano en interior (NLOS)	1 Km	21 Mbps por canal de 10 MHz
Suburbano en interior (NLOS)	2,5 Km	22 Mbps por canal de 10 MHz
Suburbano exterior (LOS)	7 Km	22 Mbps por canal de 10 MHz
Rural interior	5 Km	4,5 Mbps por canal de 3,5 MHz
Rural exterior	15 Km	4,5 Mbps por canal de 3,5 MHz

Las tecnologías de antenas inteligentes son uno de los métodos más importantes para mejorar la eficiencia espectral en celulares. Los estándares 802.16 permiten a los fabricantes soportar una gran variedad de estos mecanismos, que pueden ser factores diferenciadores clave en sus productos.

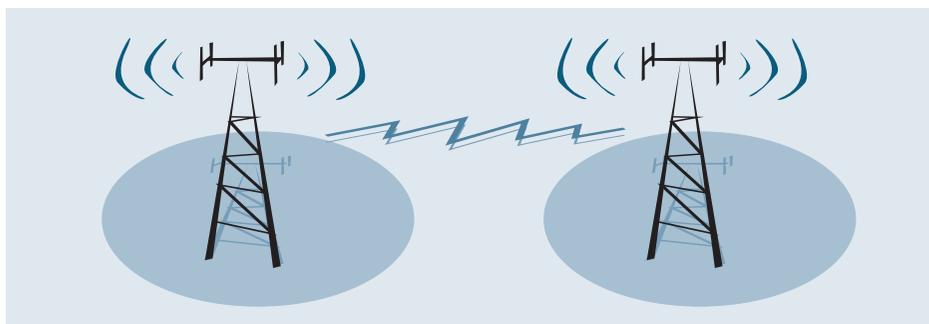
6. Topologías de Red

Existen varias topologías de despliegue de red que pueden ser soportadas en las redes WiMAX. Es posible desplegar una red cableada dedicada a la interconexión de estaciones base, o bien realizar estas conexiones en base a circuitos radio PTP (Punto a Punto) en la banda de microondas, o inclusive emplear WiMAX para estos circuitos PTP entre estaciones.

Las estaciones base son capaces de soportar su propia interconexión, dividiendo el ancho de banda disponible entre el dedicado a las comunicaciones de usuarios y el dedicado a la interconexión de las diferentes estaciones base.

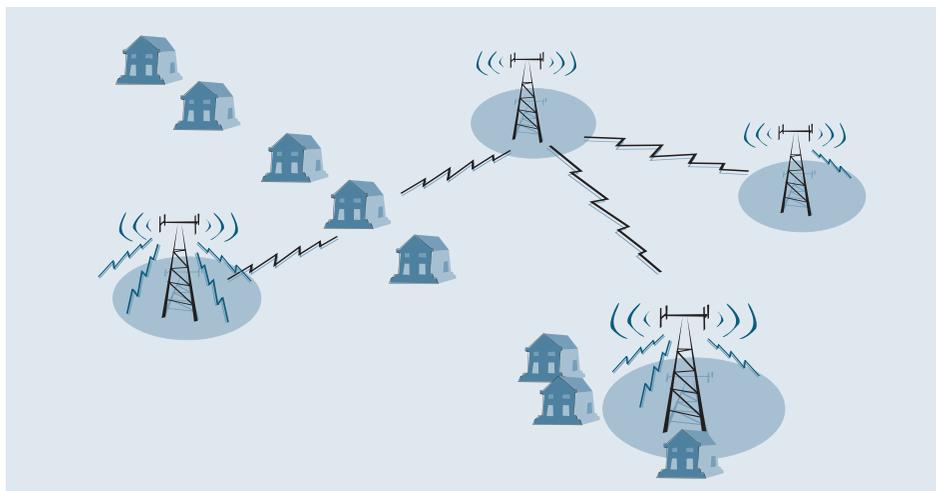
A continuación se presentan diferentes ejemplos de topología de red:

FIGURA 3. *Conexiones Punto a Punto (PTP).*



En la configuración de la *figura 3* podemos unir diferentes edificios o estaciones base mediante circuitos radioeléctricos dedicados a cada una de las conexiones.

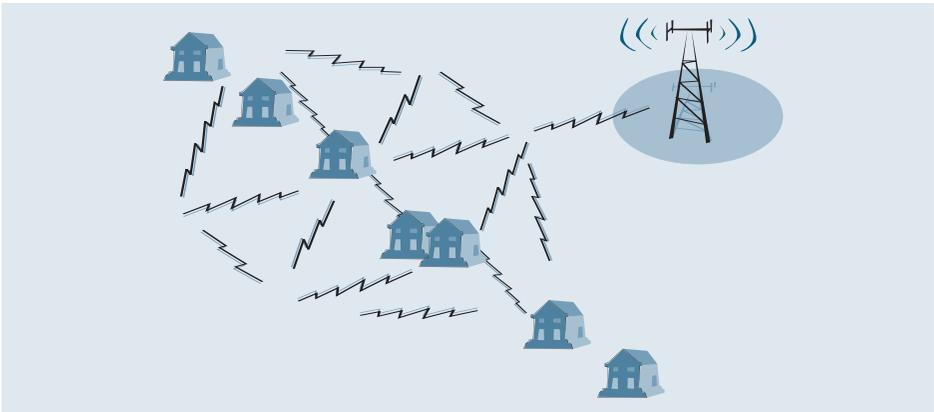
FIGURA 4. *Conexiones Punto Multipunto (PTM).*



En la *figura 4*, se muestra una arquitectura PTM (Punto a Multipunto), en la que cada una de las estaciones base establece conexiones con varias estaciones remotas (para redes que trabajan en la banda inferior de las frecuencias de microondas). La arquitectura PTM representa la arquitectura más extendida. PTM permite al operador de red alcanzar el mayor número de usuarios al menor coste y limita el número de routers y switches necesarios para operar la red.

PTM ha sido recomendado en ocasiones también para su uso en bandas milimétricas. El problema radica en la topografía de la mayor parte de las ciudades, que podrían ser los principales mercados para este tipo de servicios. Las redes PTM generalmente precisan del empleo de antenas sectoriales, que consisten en un conjunto de antenas direccionales distribuidas alrededor de un mástil central. Cada antena define un sector, un área donde la frecuencia puede ser reutilizada. Los sectores también pueden ser desarrollados en base a arrays de antenas, donde se combinan un conjunto de dipolos, obteniendo lóbulos direccionales para variar las relaciones de fase de las señales de cada una de las antenas. Las relaciones de fase son modificadas electrónicamente y, en el caso de antenas adaptativas, el sistema es capaz de ajustar la anchura y dirección del lóbulo para facilitar la mejor conexión con un determinado usuario. Son las conocidas antenas inteligentes.

FIGURA 5. *Red Mallada (Mesh networking).*



La *figura 5* representa una arquitectura de red mallada (*red mesh*). En una red *mesh* cada terminal de usuario es capaz de establecer varios enlaces con usuarios adyacentes. De esta forma, existen una serie de alternativas antes de llegar al punto origen de la red. Algoritmos especiales de encaminamiento son capaces de direccionar las comunicaciones por el camino mas adecuado en cada momento; si un equipo de cliente deja de funcionar, la red sigue funcionando por caminos alternativos.

7. Proyecto de Handoff

Se están dando algunos pasos hacia un estándar que podría revolucionar la industria de las comunicaciones inalámbricas y asegurar el dominio de WiMAX en el área metropolitana.

Se trata de la propuesta de proyecto "*handoff*" del IEEE. El "*handoff*" permite que un dispositivo cambie de una red a otra sin pérdida de sus comunicaciones. El proyecto pretende analizar la

viabilidad de desarrollo de un estándar para un entorno común de "handoff" entre los diferentes variantes del 802.XXx (WiMAX, WiFi, tecnologías de corto alcance como UWB (Ultra Wide Band), así como los estándares cableados del IEEE).

El comité está liderado por personal de Intel, Lucent y Nokia. Estos fabricantes están llevando a cabo grandes esfuerzos e inversiones en este proyecto, y manifiestan que es un proyecto crítico dentro de sus estrategias futuras. Es de prever que existirá igualmente un "handoff" entre WiMAX y las redes móviles, un área donde Lucent esta siendo pionera.

El estándar para "handoff" se encuentra en un estado inicial y necesitará previsiblemente de varios años para conseguir su desarrollo. Cuando este estándar esté finalizado, muchos de los argumentos de critica sobre los diferentes estándares inalámbricos pasarán a ser irrelevantes. Las comunicaciones podrán ser trasvasadas a la red más adecuada en cada momento: local, metropolitana, o a una red o interurbana. Intel está anunciando dispositivos que inteligentemente elegirán la mejor conexión en cada momento.

Un escenario de este tipo cumplirá con la promesa que aparece actualmente en el desarrollo de las redes 4G, el matrimonio entre IP y las redes móviles La incorporación de WiMAX en este conjunto de tecnologías para comunicaciones inalámbricas podría dotar de ubicuidad y robustez a las comunicaciones de datos y multimedia.

Hay otros aspectos clave a ser desarrollados, como son la compatibilidad con otros trabajos de *handoff*, particularmente los proyectos más básicos del lado del WiFi 802.11k y 802.11f. Igualmente ha de tenerse en cuenta el soporte de protocolos de capas superiores, como IPv4 e IPv6, así como la seguridad.

Es igualmente importante seguir los trabajos de *handoff* en otros grupos de estandarización, especialmente el "Internet Engineering Taskforce WLAN" y el "3GPP cellular body", junto con otros grupos del IEEE como el 802.11x.

8. Seguridad

Al contrario de las tradicionales tecnologías WLAN, WiMAX nace como una solución robusta en materia de seguridad. WiMAX proporciona un nivel de control de acceso al medio (MAC) que utiliza un mecanismo de *grant-request* para autorizar el intercambio de datos. El mecanismo permite un mejor aprovechamiento del medio radioeléctrico, la utilización de antenas de menor tamaño, así como el control individual del tráfico de cada usuario. Esto simplifica el soporte de servicios que requieran comunicaciones en tiempo real o aplicaciones de comunicaciones de voz.

La seguridad ha sido uno de los mayores problemas encontrados por los usuarios en las WLAN. Las versiones iniciales disponían de mecanismos de seguridad poco elaborados, y era relativamente sencillo que personas no autorizadas consiguieran el acceso a las redes. WiMAX propone una serie de características muy completas en materia de seguridad:

- Autenticación de usuario en base a protocolo EAP (*Extensible Authentication Protocol*).

- Autenticación del terminal por intercambio de certificados digitales que impiden la conexión de terminales no autorizados.
- Cifrado de las comunicaciones utilizando algoritmos como el DES (*Data Encryption Standard*) o el AES (*Advanced Encryption Standard*), mucho más robustos que el *Wireless Equivalent Privacy* (WEP) utilizado inicialmente en las WLAN. Adicionalmente cada servicio es cifrado con la asociación específica de clave pública/clave privada.

9. Niveles de Servicio

Uno de los aspectos más atractivos para los proveedores de servicio y los usuarios es la capacidad de WiMAX de proporcionar diferentes niveles de servicio. Por ejemplo, una estación base puede proporcionar hasta 75 Mbps (802.16a). Con esta capacidad podemos comprometer diferentes niveles de servicio, como por ejemplo 1 Mbps garantizado para los clientes del segmento empresarial, así como 128 Kbps en modalidad "best effort" para los clientes del segmento residencial.

También es posible adaptar las estaciones base al tipo de demanda. En zonas rurales donde existe gran dispersión geográfica de los clientes, podemos utilizar modulación adaptativa, que permite aumentar el alcance de la comunicación, cuando es necesario, a costa de una reducción de la velocidad de transmisión. Modulaciones de alto nivel (p.ej. 64 niveles, en QAM) proporcionan una velocidad elevada en un alcance "cercano", mientras que niveles de modulación bajos (p.ej. 16 niveles, en QAM), permiten un mayor alcance a costa de una reducción de velocidad de transmisión, todo dentro de la misma estación base.

El esquema de modulación se asigna dinámicamente en la estación base, dependiendo de la distancia al cliente, la meteorología, la interferencia existente con otras señales, así como otros factores transitorios. Esta flexibilidad permite a los proveedores de servicio adaptarse a las necesidades de las áreas de distribución específicas, haciendo que WiMAX sea rentable en una gran variedad de áreas geográficas.

WiMAX permite diferenciar calidad de servicio sobre latencia y tasa de errores. Esta capacidad permite adecuar dichos parámetros al tipo de transmisión. La mayoría de las comunicaciones pueden tolerar un nivel razonable de latencia, pero no admiten los errores de comunicación. Las comunicaciones en tiempo real de audio/vídeo son, sin embargo, muy exigentes en cuanto a la latencia y más tolerantes en cuanto a errores. El poder diferenciar estos niveles de calidad de servicio permite manejar diversos servicios de comunicaciones de forma eficiente.

10. Papel de WiMAX en las comunicaciones inalámbricas

Existen una serie de aspectos fundamentales que orientan claramente el futuro de WiMAX, así como su campo de aplicación, concretamente:

- El apoyo de los grandes fabricantes de semiconductores y de las industrias de radiocomunicación, hará que esta tecnología se convierta en una realidad palpable en los próximos años. La interoperabilidad, junto con la reducción de costes de los dispositivos de usuario, permitirá desarrollar un mercado que hoy se encuentra muy fragmentado.
- WiMAX es considerado como un complemento a las infraestructuras existentes, tanto fijas como móviles. En el caso de las comunicaciones fijas permitirá extender la banda ancha a aquellos lugares donde sea difícil o poco rentable el despliegue de infraestructura cableada. Para las redes móviles, posibilitará la oferta de comunicaciones de mayor ancho de banda a menores costes.
- La no necesidad de instalación de antenas externas en los edificios de los clientes, así como la característica de "Non Line of Sight" en el 802.16a y la futura incorporación de WiMAX en ordenadores portátiles y dispositivos PDAs, hace que WiMAX apunte a las aplicaciones de comunicación de datos en movilidad.

El impulso de marketing para WiMAX se ha basado en su movilidad potencial, junto con su posible papel de "backhaul" o incluso, como sustituto de redes públicas WiFi. Sin embargo, la razón de ser de WiMAX está en su aplicación para acceso inalámbrico de banda ancha en el mercado residencial y de empresas.

A continuación realizamos una revisión a las distintas áreas de aplicación de la tecnología WiMAX.

10.1 Países desarrollados

Empresas

Los primeros antecedentes los encontramos en Estados Unidos, donde existe un gran número de proveedores de equipamiento inalámbrico, trabajando en mercados de nicho, empleando infraestructuras de coste elevado y utilizando tecnologías avanzadas (OFDM, antenas inteligentes...) para ofrecer comunicaciones alternativas a las cableadas. ArrayComm, Alvarion, IPWireless, Navini y Beamreach son ejemplos de este tipo de proveedores. Estos especialistas han venido trabajando con soluciones propietarias y actualmente reenfocan sus productos hacia WiMAX.

En zonas urbanas WiMAX permitirá la construcción de redes privadas inalámbricas a empresas con dos o más sedes. De esta forma será factible la realización de redes alternativas al alquiler de circuitos a operadoras tradicionales, a costes mucho más reducidos y con una mayor velocidad en el despliegue de la Red.

Usuarios Residenciales y Profesionales

Última milla al Hogar

WiMAX puede ser empleado como una solución muy competitiva en coste, frente al acceso xDSL y cable.

Es plausible que a corto plazo se desarrollen dispositivos competitivos en precio que incorporen WiFi + WiMAX, capaces de realizar una conexión con el exterior utilizando WiMAX sin necesidad de antena exterior, y trabajando sin línea de visión directa. El dispositivo actuará, al mismo tiempo, como punto de acceso WiFi para los dispositivos cercanos dentro del hogar o de la oficina.

En general, el dispositivo de usuario será un dispositivo *"Plug and Play"* que permitirá la conexión a la Red de forma similar a los actuales módems DSL. En aquellas ocasiones en las que el usuario se encuentre lejos de la estación base requerirá la instalación de una antena exterior auto instalable que mejore la calidad de la comunicación. Dentro de entornos de buena cobertura no precisarán de esta antena exterior, bastará con una antena interior incorporada al dispositivo.

Comunicaciones "nomádicas"

Se denominan comunicaciones nomádicas a aquellas que permiten la conexión a Internet en base a pausas en el camino y mientras nos encontremos dentro del área de cobertura de una estación base (*hotspot*). Las comunicaciones denominadas *"portable Internet"* implican la posibilidad de continuar con las sesiones de conexión iniciadas cuando nos movemos entre diferentes estaciones base dando continuidad de conexión a lo largo de la Red. Las nuevas generaciones de redes multiacceso (3G, WiFi, WiMAX,DSL...) permitirán a los usuarios finales disfrutar de la mejor conexión permanente del momento y lugar, tanto desde el hogar como desde la oficina o en tránsito. WiMAX aparece como una tecnología de acceso radio que complementa el concepto de solución de arquitectura de red global.

"Hotspots"

Los Operadores de Hotspots WiFi necesitan para sus zonas WiFi conexiones cableadas con los operadores tradicionales. WiMAX puede permitir la creación de una Red de *"backhaul"* para los *"hotspots"* con la consiguiente reducción de costes. Existe la posibilidad de que WiMAX *"sobrepase"* a WiFi, sustituyendo el servicio local WiFi por un servicio de ámbito metropolitano y por la aparición de *"hotzones"*, superando a los *"hotspots"*.

Regiones remotas

El mercado más rentable para los fabricantes de equipos de acceso inalámbrico de banda ancha ha sido el de los países en vías de desarrollo, así como las áreas rurales de Estados Unidos, donde no existe infraestructura cableada o celular (móvil). En estos lugares no existe alternativa a la utilización de acceso vía satélite, que tiene importantes limitaciones en cuanto a ancho de banda y a velocidad en el sentido ascendente, y también alta latencia. Una combinación de Satélite + Wimax puede resultar una alternativa a considerar en este tipo de aplicaciones.

Zonas rurales

WiMAX permitirá la cobertura de banda ancha en zonas rurales, donde la dispersión de la población y las dificultades en el despliegue de infraestructura cableada hacen que actualmente

los operadores no encuentren una rentabilidad suficiente que justifique la inversión con medios tradicionales. La aplicación de WiMAX se centrará en el mercado residencial y servicios de acceso a Internet y de comunicaciones de voz. Los operadores (fijos y móviles) tendrán a su alcance una tecnología alternativa para ofrecer acceso inalámbrico en banda ancha.

10.2 Países en vías de desarrollo

Su aplicación principal estará en áreas urbanas y suburbanas, con foco tanto en el mercado residencial como de empresas. La baja penetración de las infraestructuras cableadas, así como la baja calidad de las líneas de comunicaciones analógicas, hacen difícil el despliegue masivo de tecnologías de banda ancha como el ADSL. La posibilidad de despliegue de servicios de acceso a Internet y comunicaciones de voz en base a tecnologías inalámbricas de banda ancha, hará que WiMAX desplace a tecnologías alternativas de WLL (*Wireless Local Loop*) de banda estrecha. WiMAX tratará inicialmente de proporcionar servicios de comunicación de voz sobre IP en áreas suburbanas y urbanas de países en desarrollo.

Caso de China:

Uno de los mercados potenciales más interesantes para el BWA (Broadband Wireless Access) es China. Se vienen manteniendo conversaciones entre el gobierno chino y el IEEE con vistas a establecer el IEEE802.16 como el estándar para BWA a 3,5 GHz en China. Algunos operadores chinos están realizando pilotos con esta tecnología antes de que exista equipamiento 100% WiMAX. Alvarion ha suministrado este equipamiento a China Unicom para una cobertura inalámbrica de inicialmente seis ciudades.

11. Aspectos regulatorios

WiMAX podrá ser utilizado tanto en bandas licenciadas como no licenciadas. El ancho de banda mínimo del canal es de 1,75 MHz, siendo 10 MHz el ancho de banda por canal óptimo.

A pesar de que las bandas no licenciadas de 2,5 GHz y 5 GHz están disponibles, su uso dentro del área urbana podría estar limitado a pruebas debido a los riesgos de interferencias que podrían perjudicar los compromisos de calidad de servicio, cuando varios operadores concurren simultáneamente en la misma banda y localización. Por ello, las bandas licenciadas de 2,5 y 3,5 GHz serán las más comunes para las aplicaciones WiMAX. La mayoría de los países han asignado espectro licenciado, generalmente a operadores alternativos.

El hecho de poder trabajar en bandas de frecuencia no licenciadas significa que cualquiera podría utilizar esas mismas frecuencias para el despliegue, en la misma zona, de servicios de comunicación inalámbricos. Esto hace que no se pueda garantizar la no interferencia entre operadores, y que si un operador realiza una inversión en infraestructura en una determinada zona, nadie le garantiza que en un futuro otro operador pueda desplegar nueva infraestructura y verse ambos envueltos en problemas de interferencia entre redes. Los operadores tradicionales difícilmente se arriesgarán a invertir en la utilización de frecuencias no reguladas en zonas

urbanas, si bien es cierto que en el ámbito suburbano o rural baja el riesgo de interferencias por concurrencia de redes.

WiMAX está diseñado para soportar FDD (*Frequency Division Duplexing*), indicado para tráfico de empresas, así como TDD (*Time División Duplexing*), más adaptado a tráfico asimétrico. La coexistencia de ambos mecanismos de modulación es posible dentro de las mismas bandas de frecuencias, siempre que se establezcan bandas de guarda.

WiFi está demostrando que, en células del tamaño de 50-100 metros, el problema de interferencias es bajo, y el número de dispositivos inalámbricos instalados en los hogares crece día a día, hasta el punto que en España los operadores de ADSL suelen utilizar en todas sus instalaciones en el hogar un módem-router WiFi.

12. Operadores y fabricantes

Operadores

WiMAX será aplicable tanto a operadores tradicionales como operadores alternativos. Para los primeros, WiMAX permitirá el despliegue de conexiones equivalentes a las líneas DSL en lugares remotos y de baja densidad de población donde no es factible la cobertura con conexiones cableadas.

En el caso de operadores alternativos, es posible la creación de redes tanto en ámbito urbano como interurbano, eliminando la necesidad de despliegue de conexiones cableadas. La mayor oportunidad, según alguno de los promotores de WiMAX, se centra en las aplicaciones de *Internet portable*, complementando las soluciones fijas y móviles, tanto en ámbito urbano como interurbano.

Para los operadores móviles, WiMAX es una espada de doble filo. WiMAX es una tecnología disruptiva debido a que no se precisa de infraestructura física cableada para el acceso en la última milla. El coste de las estaciones base se espera se sitúe en torno a los 20.000 dólares usando hardware estándar. Como con los *hotspots* WiFi, los operadores fijos y móviles tendrán interés en extender sus redes a través de WiMAX, al tiempo que deberán proteger las inversiones realizadas en infraestructuras 3G y servicios cableados.

Los operadores móviles podrán integrar las coberturas WiMAX en sus redes actuales, ofreciendo los mismos servicios de mensajería, comunicaciones multimedia, servicios de localización... sobre una única factura y perfil de usuario. Los operadores móviles son los mejor posicionados para la utilización de WiMAX.

Los ISPs (Internet Service Provider) inalámbricos que trabajen en bandas no licenciadas arrancarán sus servicios con WiMAX. Existen alrededor de 1800 WISPs (1800 Wireless ISPs) en EEUU, la gran mayoría centrados en WiFi. Alguno de estos operadores ya está analizando la expansión al área metropolitana. Antes de la aparición de WiMAX, estos operadores han tenido

que recurrir a soluciones inalámbricas propietarias para proporcionar características que no pueden facilitarse con WiFi, como es la calidad de servicio.

A medida que la FCC y otras autoridades equivalentes fuera de EEUU se manifiesten más partidarias de liberar nuevo espectro radioeléctrico, aparecerán más WISPs, especialmente si las administraciones liberan bandas MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) no utilizadas.

Como ya se ha indicado repetidamente, WiMAX trabaja en bandas licenciadas y no licenciadas, y los productos iniciales se enfocarán en bandas licenciadas de 2.5 GHz, y 3.5 GHz y en las no licenciadas de 5 GHz. El espectro no licenciado permite a operadores independientes poder crear servicios de *backhaul* para *hotspots*, los cuales tienen el potencial de poder desplegar redes inalámbricas a nivel nacional. Si los operadores tradicionales pueden controlar este fenómeno, como han estado haciendo con WiFi, serán capaces de ofrecer servicios integrados. Los operadores móviles tienen el poder y los recursos necesarios para tomar el control del desarrollo de este tipo de redes, pero podrían tener que reducir sus inversiones en 3G.

A medida que WiMAX se desarrolle como la opción ganadora para las conexiones de última milla y aplicaciones en el medio rural/residencial extrarradio, es posible que aparezca la atracción de grandes operadores que busquen nuevas fuentes de ingresos, y desplieguen su oferta en estos entornos; en este caso los operadores de nicho podrían ser expulsados del mercado.

Los fabricantes

Mientras los operadores duden, los fabricantes de equipos irán por delante. Intel, situado a la vanguardia, y Nokia, que ha apoyado WiMAX desde sus comienzos, ya están mirando al estándar móvil 802.16e como una nueva oportunidad de negocio.

Las empresas *start-up* que desarrollaron los primeros equipamientos WLAN han ido perdiendo el control de la tecnología WiFi, que ahora está en manos de las grandes. Al contrario de otros booms tecnológicos, ninguna de esas compañías espera crecer para ser una de las compañías dominantes. Los grandes gigantes se han posicionado para tomar el control de este nuevo sector, especialmente Intel y Cisco.

El mismo proceso se espera que ocurra con WiMAX, principalmente a nivel de circuitos integrados y equipamiento hardware. La incógnita es si serán capaces de impedir la entrada de cualquier otro actor gracias a la agresividad de su posicionamiento inicial.

La posibilidad de disponer de precios bajos para el equipamiento WiMAX ayudará a los modelos de negocio de algunas compañías de BWA, y las alianzas con Intel podrían asegurar la supervivencia de compañías como Alvarion. Sin embargo, componentes baratos harán que también se reduzcan las barreras de entrada, y podrían causar la desaparición de compañías sin suficientes recursos financieros, como algunos fabricantes de antenas inteligentes y equipos OFDM.

Los primeros productos WiMAX se espera que provengan de Intel y de los siguientes fabricantes:

- Proxim, que ya tiene equipamiento en preproducción.
- Ensemble Communications.
- Flarion (compañía aliada de Cisco), para las aplicaciones última milla, ha realizado pruebas en Corea del Sur de BWA utilizando antenas inteligentes y soportando el 802.16a. Corea es una de las zonas donde se espera que esta tecnología sea adoptada con mayor velocidad.
- Fujitsu Microelectronics. Está desarrollando un *chip set* que integra la capa física y MAC junto con un procesador ARM9.
- Gen-Wan Technology es una compañía de Taiwán que ofrece estaciones base 802.16a, junto con terminales fijos y móviles, repetidores y sistemas de gestión de red. Inicialmente está orientando las ventas de sus equipos a aplicaciones de seguridad pública y aplicaciones militares, donde WiMAX ofrece, en situaciones de emergencia, comunicaciones más robustas que las redes celulares.
- WiLAN, una de las *startup* críticas en el desarrollo de WiMAX, ha salido al mercado con soluciones pre-estándar. Su tecnología OFDM está incluida en el 802.16a y tiene un acuerdo de fabricación con Fujitsu Microelectronics.
- BroadCom y Texas Instruments están moviéndose en torno al WiMAX y prometen salir al mercado al mismo tiempo que Intel y Fujitsu. El sector de la microelectrónica será quien defina las características básicas de los equipos WiMAX y tomará un papel preponderante en el desarrollo del 802.16.
- Los primeros socios tecnológicos de Intel en el ámbito WiMAX, que serán las primeras compañías en utilizar los chipset WiMAX de Intel, son Alvarion y Aperto Networks. Alvarion, como ya hemos indicado, tiene un importante contrato con China Unicom y con un proyecto inicial de extender WiMAX en seis ciudades.
- AirTap Communications es uno de los entrantes iniciales en el mercado WiMAX en EEUU, atendiendo a las PYMES y grandes empresas en el ámbito metropolitano.

13. Visión de futuro

No hay duda que las tecnologías basadas en IP cubrirán muchas de las limitaciones de 3G en términos de transferencia de datos, al tiempo que proporcionarán un menor coste de instalación del bucle local, con independencia de la visión directa. BWA es aún débil en la comunicación de voz sobre IP. La VoIP requiere de terminales especializados y altos índices de calidad en la red.

Algunas "pistas disruptivas":

- Algunos especialistas piensan que en seis años se podrá disponer de terminales IP inalámbricos que harán de IP la tecnología dominante en las comunicaciones de banda ancha inalámbrica, superando a los terminales 3G.
- Los operadores móviles están trabajando hacia un mundo IP con sus propios desarrollos, bajo la tecnología 4G, pero por primera vez se encontrarán con una competencia nueva y factible, que puede que les fuerce a usar una plataforma tecnológica que podrá ser ofertada por operadores alternativos.
- Están apareciendo alternativas IP a 3G de la mano de varias *start-up* en USA (Flarion, IPWireless, Soma, Navini,...). Todas ellas utilizan OFDM y consiguen velocidades superiores a 3G.
- Muchas de estas *start-ups* utilizan tecnologías de antenas inteligentes. Estas tecnologías podrían incorporarse en los estándares MAN inalámbricos a medida que se desarrollen. ArrayComm o IPWireless han sido dos de las estrellas dominantes, junto con Navini Networks y BeamReach (Navini es una de las compañías más prometedoras en este campo).
- Navini proclama que su solución tiene un coste un 70% inferior al de las soluciones inalámbricas de primera generación, y un 50% inferior a las soluciones DSL. Su producto estrella es la estación base Ripwave, que usa una tecnología de arrays de antenas adaptativas, capaz de atravesar paredes. Los modems de usuario de Ripwave ofrecen acceso a Internet de banda ancha bajo condiciones de NLOS e incorporando servicio de voz y de datos.
- AirLink y Beamreach utilizan Multibeam OFDM, una tecnología de antenas inteligentes que dice ofrecer una cobertura celular 16 veces superior y con mayor eficiencia espectral que la ofrecida por 3G.
- BeamReach asegura que mientras las redes 2G y 3G incorporan facilidades OFDM básicas, la tecnología *Multibeam* adaptativa es más eficiente, debido a la capacidad de reusar múltiples frecuencias en la misma célula. Los datos son transmitidos sobre dos canales a frecuencias diferentes para mejorar la velocidad. OFMD adaptativa proporciona una eficiencia espectral en torno a 10 b/s/Hz/celda, comparado con el 1bit de las redes de banda ancha CDMA (como WCDMA).

En cuanto a las perspectivas de Intel para la aparición de sus nuevos chips WiMAX, INTEL ya ha anunciado su aparición para los tres entornos: fijo exterior, interior y portable/móvil, tal como aparece en la siguiente figura.

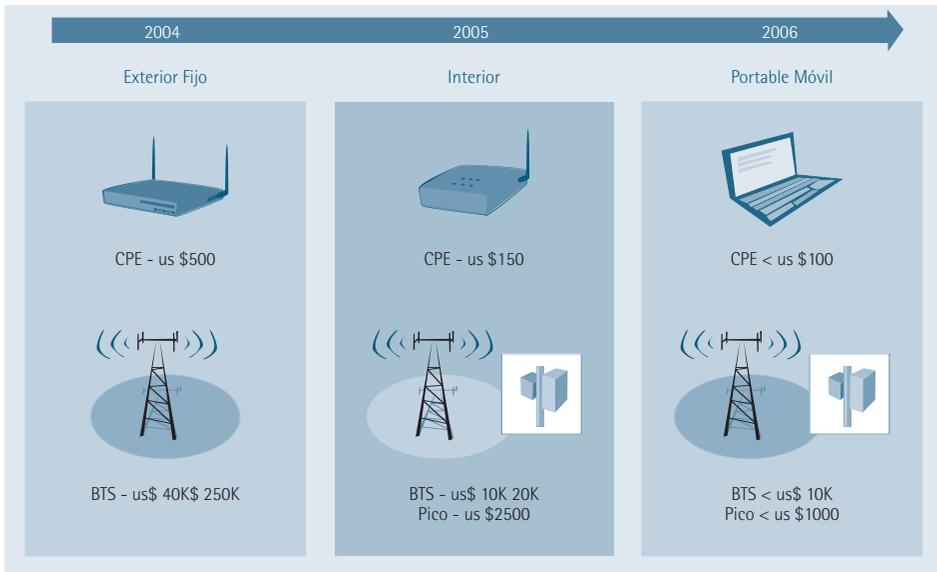
FIGURA 6. Entornos de Aplicación WiMAX.



Fuente: Intel.

En cuanto a plazos de desarrollo, se ha fijado para finales de 2004 la disponibilidad de una solución preestándar para aplicaciones de exterior "fijo", siendo el 2005 y 2006 los años en los que espera poner en el mercado las soluciones de interior y móvil.

FIGURA 7. Estimaciones de costes equipamiento WiMAX.



Fuente: Intel.

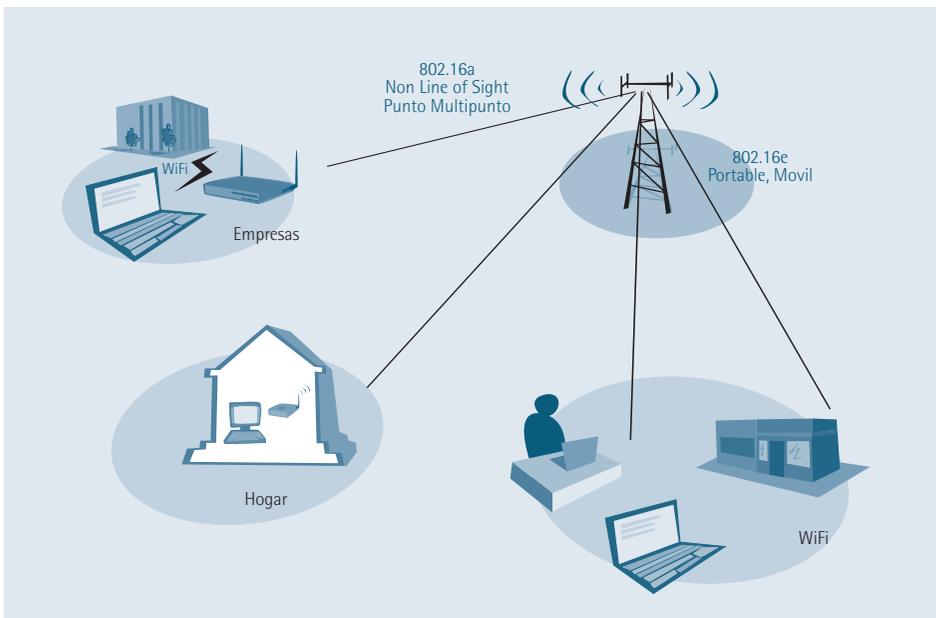
WiFi ha sido el primer paso en el desarrollo de la tecnología inalámbrica de banda ancha. Le siguen otras tecnologías (Mobile-Fi, Zig-Bee y Ultrawideband) que permitirán llevar el conexasión inalámbrico a la red en todas las facetas de la vida diaria, desde los coches y las viviendas a los edificios de oficinas y fábricas. Nos acercamos hacia el propósito de llevar Internet a una gran cantidad de dispositivos que interactúan unos con otros, con total independencia del lugar, del momento y del propio dispositivo. Sensores conectados a la red, acceso inalámbrico de banda ancha, comunicaciones multimedia de gran ancho de banda.

Entre las tecnologías que nos irán acercando a esta situación, ZigBee es la tecnología que coordina la comunicación entre miles de diminutos sensores. Estos sensores pueden distribuirse en oficinas, hogares, fábricas... recogiendo información sobre temperatura, humedad, análisis químicos... Están diseñados para disponer de una vida de 10 años antes de agotar su batería. Los datos pasan de un dispositivo al siguiente, para al final de la cadena ser cargados en un ordenador para su recogida y análisis.

Ultrawideband está pensada para la comunicación de grandes volúmenes de información en distancias muy cortas. Permitirá la visualización de contenidos multimedia almacenados en el PC desde por ejemplo, la TV del comedor.

En carretera, un viajero podrá recibir en su ordenador personal contenidos multimedia a través de Mobile-Fi, y transferir la información a su ordenador de bolsillo a través de *ultrawideband*. Motorola ya ha comenzado a comercializar chips con una versión reciente de esta tecnología.

FIGURA 8. *Visión de INTEL de los futuros terminales de usuario.*



Fuente: Intel.

La Alianza WiFi ha conseguido el despliegue mundial de esta tecnología, al tiempo que los costes de los equipos se han reducido paulatinamente. El precio del *chipset* fabricado por Intel ha caído de 45 dólares en el 2003 a menos de 20 dólares a finales de 2004. Se espera que en el año 2005 se vendan 54 millones de ordenadores portátiles WiFi, PDAs y otros dispositivos WiFi. Lo acontecido con WiFi en el ámbito de las redes inalámbricas de área local WLAN, hace pensar que WiMAX podría tener un desarrollo similar en el ámbito metropolitano inalámbrico WMAN.

En una hipotética lucha entre nuevos entrantes y operadores móviles ya establecidos, la ventaja que podrían tener las tecnologías emergentes en banda ancha inalámbrica sería la utilización de bandas no reguladas, pero estas bandas son demasiado pequeñas como para poder ofrecer unos despliegues en competencia con las redes 3G. Intel, Microsoft... están intentando que los organismos reguladores (FCC en EEUU) liberen espectro adjudicado a las compañías de difusión de TV que dispongan de grandes cantidades de ancho de banda, pero no está nada claro que estos organismos accedan a este tipo de peticiones. No obstante, la mejora de productividad en muchos de los trabajos actuales pasa por la movilidad: es una gran ventaja el acceso a la información desde cualquier parte, en cualquier momento y desde cualquier dispositivo, por lo que la propia sociedad comenzará a demandar la conexión inalámbrica a Internet en banda ancha.

A medida que se desarrollen las comunicaciones inalámbricas, las redes se irán tejiendo a lo largo de nuestro entorno de forma que darán lugar a un gran número de innovaciones. En un futuro, los teléfonos móviles, las PDAs, etc. serán capaces de saltar de una red de comunicaciones a otra, pudiendo estar conectados a redes WiMAX, WiFi o a redes tradicionales, móviles o fijas.

También será posible la aparición de realidades como la rebaja en la factura de la luz por parte de las compañías de electricidad a aquellas personas que permitan la instalación de sensores ZigBee, los cuales analizarán el consumo instantáneo de electricidad en el hogar y enviarán la información a través de redes inalámbricas. De esta forma, las eléctricas podrán conocer la distribución de consumo por la Red Eléctrica en tiempo real y adecuar la capacidad de suministro a la demanda instantánea.

En definitiva, nos acercamos a un mundo conectado a Internet de forma masiva, y donde las comunicaciones inalámbricas juegan y aún jugarán más, un papel fundamental.

Capítulo 4

Agentes y Sistemas Multiagente

José M. Molina López, Jesús García Herrero y Ana M.^a Bernardos Barbolla

Departamento de Informática, Univ. Carlos III de Madrid

<http://giaa.inf.uc3m.es>

Centro de Difusión de Tecnologías, Univ. Politécnica de Madrid

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

1. Agentes y Sistemas Multiagente (106)

- 1.1. El concepto de Agente (106)
- 1.2. Sistemas Multiagente (107)
- 1.3. Arquitectura de un agente (110)
- 1.4. La cooperación en Sistemas Multiagente (112)
- 1.5. Colaboración y Coordinación entre agentes (115)
- 1.6. Comunicación entre agentes (119)

2. Áreas de Aplicación de la Tecnología de Agentes (121)

- 2.1. Agentes en Internet (122)
- 2.2. Agentes escritorio (122)
- 2.3. Agentes de búsqueda de eventos e información (123)
- 2.4. Comercio Electrónico (123)
- 2.5. Sistemas de producción y control de procesos (124)
- 2.6. Workflow y Gestión Administrativa (125)
- 2.7. Agentes en Intranets (125)
- 2.8. Sistemas de telecomunicación (126)
- 2.9. Sistemas de transporte (127)
- 2.10. Sistemas de vigilancia distribuida (127)
- 2.11. Aplicaciones de robótica (128)
- 2.12. Juegos y entornos virtuales (128)
- 2.13. Aplicaciones de medicina (129)

3. Ejemplos de aplicaciones con tecnología de agentes (129)

- 3.1. Agentes de búsqueda de información en Internet (129)
- 3.2. Integración de fuentes de información en Internet (131)
- 3.3. Agentes para la futura gestión distribuida de tráfico aéreo: proyecto ACES (134)
- 3.4. Visión Artificial Distribuida Cooperativa (136)
- 3.5. Sistema de detección de minas RETSINA (138)
- 3.6. Robots de reconocimiento y vigilancia: proyecto Millibot (140)
- 3.7. Control de Vehículos no Tripulados (141)
- 3.8. Simulador para juegos de guerra: EKSL (142)
- 3.9. Entornos virtuales para educación de la salud: proyecto HEART-SENSE (143)

4. A modo de conclusión (144)

5. Referencias (145)

El concepto de agente ha aparecido recientemente (años 90) y con él se ha producido la fusión de varias disciplinas científicas que abarcan desde la Inteligencia Artificial hasta la Psicología, pasando por la Ingeniería del Software, las Bases de Datos, los Sistemas Distribuidos, la Sociología, etc. Desde un punto de vista tecnológico se puede decir que la teoría de agentes aglutina todos los campos relacionados con la Informática (Computer Science).

Los orígenes de la tecnología de agentes (Bradshaw, 1996; Ferber, 1999) comienzan con la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD), es decir con la resolución de problemas (computación inteligente) de forma distribuida. El concepto de agente como entidad computacional aislada evoluciona desde la IAD debido al influjo de la Ingeniería del Software. Actualmente se habla de la Programación Orientada al Agente desde el punto de vista de la Ingeniería del Software como la metodología capaz de superar las limitaciones de la Programación Orientada a Objetos.

1. Agentes y Sistemas Multiagente

El término agente es cada vez más conocido y se emplea en campos tan diversos como Internet, los sistemas distribuidos, la inteligencia artificial o la interacción persona-computador. Hoy en día, se habla de agentes inteligentes, agentes móviles, agentes software, agentes autónomos, sistemas multiagente (Corchado y Molina, 2002). El campo de los agentes ha atraído a científicos procedentes de áreas muy dispares: psicología, sociología, ingeniería del software, inteligencia artificial, etc. y cada uno de los miembros de estas comunidades tiende a ver el problema desde su perspectiva (Foner, 1993). Por tanto, realizar una definición de agente o agencia es complicado, debido a la diversidad de opiniones que existen en la comunidad científica sobre este tema (Franklin, 1996).

Dentro de la terminología de este campo es importante clarificar en primer lugar la diferencia entre un sistema basado en agentes y un sistema multiagente (Jennings, 1998). Un sistema basado en agentes es aquel que utiliza el concepto de agente como mecanismo de abstracción, pero aunque sea modelado en términos de agentes podría ser implementado sin ninguna estructura de software correspondiente a éstos. Por otro lado, un sistema multiagente es aquel que se diseña e implementa pensando en que estará compuesto por varios agentes que interactuarán entre sí, de forma que juntos permitan alcanzar la funcionalidad deseada (Bussman, 1993). En este caso, hay que hacer un mayor esfuerzo de abstracción, identificar mecanismos de aprendizaje, coordinación, negociación, etc. Los sistemas multiagente son adecuados para solucionar problemas para los que hay múltiples métodos de resolución y/o múltiples entidades capaces de trabajar conjuntamente para solucionarlos (Chu-Carroll, 1995). Por ello, uno de los aspectos básicos en estos sistemas es la interacción entre los diferentes agentes que los forman, la definición de modelos concretos de cooperación, coordinación o negociación entre los agentes.

1.1 El concepto de Agente

Un agente es un sistema informático, situado en algún entorno, dentro del cual actúa de forma autónoma y flexible para así cumplir sus objetivos. Además de la interacción con el medio, un

agente se caracteriza, utilizando la definición de (Wooldridge, 1995), por las siguientes propiedades:

- Autonomía: capacidad de actuar sin intervención humana directa o de otros agentes.
- Sociabilidad: capacidad de interactuar con otros agentes, utilizando como medio algún lenguaje de comunicación entre agentes.
- Reactividad: un agente está inmerso en un determinado entorno (hábitat), del que percibe estímulos y ante los que debe reaccionar en un tiempo preestablecido.
- Iniciativa: un agente no sólo debe reaccionar a los cambios que se produzcan en su entorno, sino que ha de tener un carácter emprendedor y tomar la iniciativa para actuar guiado por los objetivos que debe satisfacer.

Para algunos investigadores el término agente tiene una caracterización más concreta; para que un sistema informático pueda considerarse como un agente tiene que modelarse e implementarse usando aspectos que usualmente se aplican a los humanos. Así, Shoham (1993) define un agente como una entidad cuyo estado está formado por componentes mentales (típicas de los humanos), como creencias, capacidades, elecciones y compromisos: estados que determinan las acciones que llevan a cabo los agentes y que están afectados por los mensajes que reciben.

Para que se extienda el uso del modelo de agentes de forma generalizada en el desarrollo de software es necesario disponer de lenguajes y herramientas adecuadas, que permitan tanto la implementación de la estructura y el comportamiento del agente, como la comunicación con otros agentes. Para desarrollar agentes se pueden utilizar lenguajes de propósito general, entre los que cabe destacar los orientados a objetos, debido a cierto paralelismo entre objetos y agentes, como C++ o Java, o lenguajes específicos de agentes, de los que han aparecido numerosas propuestas en los últimos años, que suelen tener asociadas plataformas de desarrollo. Algunas de las plataformas recientes más destacadas son:

- Jade (<http://jade.tilab.com/>),
- Aglets (<http://aglets.sourceforge.net/>),
- Cougaar (<http://www.cougaar.org/>),
- JatLite (<http://www-cdr.stanford.edu/ProcessLink/papers/JATL.html/>),
- Zeus (<http://www.btexact.com/technologies/>),
- Ingenias (<http://grasia.fdi.ucm.es/ingenias/metamodel/>).

Los lenguajes de agentes han de permitir definir la estructura, estado y comportamiento de cada agente. Gran parte de estos lenguajes están influenciados por la propuesta de Shoham de considerar la programación orientada a agentes como un nuevo paradigma de programación (Shoham, 1993), en donde se representa el estado mental del agente, en base a sus creencias, capacidades, elecciones y compromisos.

1.2 Sistemas Multiagente

La Inteligencia Artificial (IA) se ocupa de la creación de sistemas computacionales aislados capaces de resolver un problema por métodos basados en el conocimiento, en la planificación,

en algoritmos de búsqueda, en el aprendizaje, etc. En estos sistemas la solución se alcanza con poca o ninguna interacción con otros sistemas. Sin embargo, desde finales de los años setenta los grandes avances en la tecnología tanto del hardware como del software abrieron una nueva perspectiva a los investigadores de la IA (Bond y Gasser, 1988). Estos avances incluyen la introducción de concurrencia en máquinas paralelas y la posibilidad de distribuir los recursos computacionales a través de redes de ordenadores. Estos avances tecnológicos, apoyados también por la observación de que las soluciones humanas a los problemas del mundo real habitualmente implican colaboración entre personas, permitieron la expansión de una nueva "y más poderosa, estrategia extensible para sobrepasar los límites inherentes a la inteligencia presente en cualquier sistema individual de IA o en cualquier sistema natural" (Durfee, 1991). Esto significó la aparición en los años 80 de una nueva disciplina: la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) (Decker, 1987).

La IAD se encarga del estudio y la definición de sistemas computacionales semiautónomos así como de las técnicas para su coordinación inteligente. La IAD se preocupa de formar un grupo de sistemas/agentes que permita superar las limitaciones individuales de recursos y conocimientos (Durfee, 1989). Más aún, bajo ciertas condiciones particulares, el rendimiento resultante del grupo puede ser mayor que la suma de los rendimientos individuales, por lo que un grupo de sistemas/agentes puede realizar tareas que un sistema individual no podría. La IAD es en realidad una disciplina diversa y cambiante, quizá por su naturaleza multidisciplinaria.

En los últimos tiempos, la IAD se ha utilizado ampliamente, tanto con fines de investigación como de aplicación, en dominios muy diferentes, como por ejemplo: reconocimiento y procesado del habla, control del tráfico aéreo, interpretación de sensores remotos, etc. Una descripción más amplia de la IAD en estos dominios puede encontrarse en Bond y Gasser (1988) y en Gasser (1992).

En general los SM tratan sobre la coordinación inteligente entre una colección de 'agentes' autónomos, cómo pueden coordinar sus conocimientos, metas, propiedades y planes para tomar una decisión o resolver un problema (Bond y Gasser, 1988). Los SM se caracterizan por una serie de propiedades:

- **Descripción de Competencias.** A partir de la abstracción de un problema concreto, la descripción de competencias define el problema en términos de tareas, subtareas y sus relaciones. De este modo se determina cómo resolver el problema, cómo distribuirlo entre los diferentes agentes y las interacciones entre los mismos. La correcta definición del problema es determinante para realizar su descomposición, su distribución y para fijar el comportamiento de los agentes a la hora de resolver un problema cooperativamente. El proceso de descomposición de un problema se realiza en dos pasos. En primer lugar, durante la definición del problema, a nivel de aplicación, y en segundo lugar durante la fase de resolución del problema para asignar la actividad de los agentes. Esta asignación puede variar desde una completamente determinística, fijada a priori, hasta una dinámica, es decir, en función de la evolución de la situación. Dependiendo del tipo de asignación emergen las organizaciones adaptativas y las no adaptativas.

- **Modelos de Agentes Conocidos.** Los SM se componen de agentes que interactúan con un ambiente externo. En este entorno existen otros agentes, por lo que resulta necesario representar, de forma local a cada agente, la información relativa a los otros agentes. Esta información se organiza habitualmente como conocimiento estructurado en modelos de agentes conocidos. Los modelos de agentes conocidos contienen las características de los agentes externos: sus capacidades, conocimientos y creencias. El modelo de agentes contiene información que el agente puede utilizar para razonar sobre otros agentes y para satisfacer sus necesidades de comunicación con otros agentes. El modelo de agentes conocidos se utiliza para predecir, o al menos para esperar, el comportamiento de otros agentes, planear y coordinar actividades locales de acuerdo con una meta global, y permitir una estructura flexible de la arquitectura de un agente, mejorando la posibilidad de agrupar agentes. Una característica deseable en un sistema distribuido es que sea dinámicamente autoconfigurable. Así, un sistema se puede adaptar a las nuevas configuraciones del grupo, o a nuevos entornos, sin intervención o rediseño por parte del desarrollador. Simplemente actualizando los modelos de agentes conocidos se puede permitir la inclusión o exclusión de un agente en un grupo.
- **Comunicación.** La definición del problema, su descomposición y distribución, genera implícitamente canales de comunicación entre los agentes, que representan puntos de interacción en el grupo. A través de ellos tienen lugar todas las interacciones entre los agentes. Estos canales permiten que un agente tenga conocimiento sobre los otros agentes y la coordinación entre ellos. El intercambio de información, o de forma más genérica, un acto de comunicación, se realiza por medio de un protocolo o lenguaje que puede tener diferentes niveles de complejidad. Pueden ir desde patrones predefinidos con una sintaxis estructurada y un tipo limitado de mensajes, hasta conversaciones flexibles no estructuradas que implican semánticas elaboradas. Algunos ejemplos de lenguajes desarrollados por los primeros investigadores de la IAD son por ejemplo, el distribuidor adaptativo de tareas del Protocolo de Contrato de Red (Davis y Smith, 1983), el protocolo de intercambio de metas y planes de PGP (Durfee, 1988), o finalmente, un lenguaje global común que permite la integración oportunista de las bases de conocimiento heterogéneas de los agentes, como el Protocolo de Comunicación del Cooper-A (Sommaruga, 1989).
- **Comportamiento del Sistema.** El comportamiento global coherente de los agentes en un sistema es el objetivo primario del sistema. Dicha coherencia se define como una propiedad del sistema medida por la eficiencia, calidad y claridad de una solución global y el nivel de fallos no críticos del sistema (Bond y Gasser, 1988). Un fallo no crítico es aquel que produce uno de los agentes y no influye de forma drástica sobre la solución global del grupo. El comportamiento de un sistema se ve influido fundamentalmente por el tipo de organización de los agentes, es decir por los distintos modos de interacción. Los distintos tipos de organización incluyen: la organización centralizada, donde la toma de decisiones la realiza un solo agente; organización tipo mercado, donde las interacciones se regulan mediante ofertas y contratos; la comunidad plural, donde las soluciones locales de un agente son refinadas globalmente por el resto de los agentes; la comunidad con reglas de comportamiento, donde un conjunto de expertos (agentes) con capacidades muy diferentes se controla mediante un protocolo de interacción, principalmente de preguntas y respuestas. Otros factores que influyen en la coherencia global del sistema, y por consiguiente en su comportamiento, son: la sincronización de acciones a través de una planificación global; la reducción de los puntos de

interacción y, por tanto, de la comunicación; la comunicación en sí misma, simplemente estudiando cuidadosamente qué, cómo, cuándo y si es necesario intercambiar información; la mejora de los modelos de agentes conocidos y de los meta-niveles de conocimiento en general, lo cual puede aprovecharse también para el control; y, por último, la búsqueda de la interacción oportunista.

- **Puntos de Interacción de un Agente.** En general, cada agente de un grupo puede tener la necesidad de comunicar a otros agentes información procesada, o bien, pedirles información que no esté a su disposición. Esto lo suele realizar el agente mediante llamadas a funciones de petición, o de envío de información. A todos los puntos presentes en la aplicación, donde se produce una interacción con otros agentes, se les denomina Puntos de Interacción (IP). Los IP son importantes porque son las localizaciones iniciales para las actividades cooperativas entre los agentes.

1.3 Arquitectura de un agente

Una arquitectura define los mecanismos que permiten interconectar los componentes tanto software como hardware que hacen que un agente se comporte como tal. En este sentido, un hecho evidente hoy en día es que existen infinidad de propuestas, casi tantas como equipos de investigación centrados en el tema (Wooldridge y Jennings, 1994).

Las arquitecturas utilizadas para construir agentes, especifican como se descomponen los agentes en un conjunto de módulos que interactúan entre sí para lograr la funcionalidad requerida. Uno de los aspectos básicos que diferencia una arquitectura de otra es el método de descomposición del trabajo en tareas particulares. La planificación es un área muy fuertemente ligada al mundo de la agencia. Esta área se centra en el estudio de mecanismos que permitan organizar la ejecución de acciones, y un agente no es más que un sistema que ejecuta acciones en un entorno determinado.

Los sistemas de planificación utilizan modelos de representación del conocimiento y razonamiento de tipo simbólico, y su modo de actuación está definido por la necesidad de satisfacer unos objetivos básicos, para lo que elaboran un plan. Estos sistemas presentan la desventaja de que tienen un elevado tiempo de respuesta. Éste es un gran inconveniente cuando se utilizan en problemas de tiempo real, ya que los algoritmos de planificación no siempre responden en un tiempo prudencial a las demandas del sistema, lo que hace que no constituyan una opción del todo viable para los agentes. Dichas críticas, dirigidas fundamentalmente hacia el modelo simbólico utilizado, llevaron a la búsqueda de alternativas que utilizasen otro modelo de representación o razonamiento, como los reactivos o híbridos.

A continuación se presentan tres arquitecturas que se diferencian en el modelo de razonamiento que utilizan (Wooldridge, 1995):

- **Deliberativas.** Son aquellas arquitecturas que utilizan modelos de representación simbólica del conocimiento. Suelen estar basadas en la teoría clásica de planificación: se parte de un estado inicial, existe un conjunto de planes y un estado objetivo a satisfacer (Maes, 1989). En estos sistemas parece aceptada la idea de que es necesario dotar a los agentes de un sistema de

planificación que se encargue de determinar qué pasos se deben de llevar a cabo para conseguir sus objetivos. Por tanto, un agente deliberativo (o con una arquitectura deliberativa) es aquél que contiene un modelo simbólico del mundo, explícitamente representado, en donde las decisiones se toman utilizando mecanismos de razonamiento lógico basados en la concordancia de patrones y la manipulación simbólica. Cuando se decide implantar una arquitectura deliberativa hay que buscar, en primer lugar, una descripción simbólica adecuada del problema, e integrarla en el agente, para que éste pueda razonar y llevar a cabo las tareas encomendadas en el tiempo preestablecido. Aunque parece una cuestión trivial, debido a la complejidad de los algoritmos de manipulación simbólica, es un aspecto al que hay que prestar mucha atención, especialmente si se tiene en cuenta que los agentes se desenvuelven en dominios reales, en los que tienen que responder a los estímulos en tiempo real. Por ejemplo, un agente intencional puede implementarse utilizando una arquitectura deliberativa. Los agentes intencionales son sistemas de planificación en los que para definir los planes se tienen en cuenta sus creencias e intenciones, de forma que el agente puede utilizar sus creencias e intenciones para razonar (Jennings, 1993). Dentro de estas arquitecturas intencionales cabe destacar aquéllas que basan su implementación en el modelo BDI (*Belief, Desire, Intention*). Éste es uno de los modelos más utilizados hoy en día (Rao, 1995).

- **Reactivas.** Los numerosos problemas que lleva asociado utilizar una representación simbólica del conocimiento, han conducido al estudio de modelos más efectivos de representación del conocimiento (Bonasso, 1995). Las arquitecturas reactivas se caracterizan por no tener como elemento central de razonamiento un modelo simbólico, y por no utilizar razonamiento simbólico complejo (Brooks, 1990; Keith, 1997). Un ejemplo típico de estas arquitecturas es la propuesta de Rodney Brooks, conocida como arquitectura de subsunción (Brooks, 1991). Esta arquitectura se basa en el hecho de que se puede generar un comportamiento inteligente sin utilizar propuestas del modelo simbólico, y en el hecho de que la inteligencia es una propiedad emergente de ciertos sistemas complejos. Las arquitecturas de subsunción manejan jerarquías de tareas que definen un comportamiento. Suelen estar organizadas en jerarquías de capas, de menor a mayor nivel de abstracción (Brooks, 1991). La mayor aplicación de este tipo de arquitecturas se ha centrado en el desarrollo de controladores en robótica. Los robots se pueden considerar como agentes reales (no software) que actúan en un entorno cambiante. Precisamente, la necesidad de actuar en un entorno impredecible y altamente cambiante dificulta la adopción de una arquitectura deliberativa, ya que las necesidades de replanificación y de continua adaptación del plan a la realidad hace inservible dicha arquitectura.
- **Híbridas.** Dado que algunos investigadores opinan que para la construcción de agentes no es del todo acertado utilizar una arquitectura totalmente deliberativa, o totalmente reactiva, se han propuesto sistemas híbridos que pretenden combinar aspectos de ambos modelos. Una primera propuesta puede ser construir un agente compuesto de dos subsistemas: uno deliberativo, que utilice un modelo simbólico y que genere planes en el sentido expuesto anteriormente, y otro reactivo, centrado en reaccionar a los eventos que tengan lugar en el entorno y que no requiera un mecanismo de razonamiento complejo. Por su propia naturaleza, estas arquitecturas son propicias para una estructuración por capas, que puede ser: (a) vertical, sólo una capa tiene acceso a los sensores y actuadores; (b) horizontal, todas las capas tienen acceso a los sensores y a los actuadores. De la misma forma que las arquitecturas de

subsunción, las capas se organizan jerárquicamente con información sobre el entorno a diferentes niveles de abstracción. La mayoría de las arquitecturas encuentran suficiente tres niveles: (a) reactivo o de más bajo nivel, se toman decisiones acerca de lo que hacer en base a los estímulos recibidos del entorno en tiempo real. Suele estar implementado como arquitecturas de subsunción; (b) conocimiento: nivel intermedio, se olvida de los datos que recopila el agente y se centra en el conocimiento que él posee del medio, normalmente con la ayuda de una representación simbólica del medio; y (c) social: la capa de más alto nivel, maneja aspectos sociales del entorno, incluyendo tanto información de otros agentes, como deseos, intenciones, etc. El comportamiento global del agente viene definido por la interacción entre estos niveles. Esta interacción cambia de una arquitectura a otra. Uno de estos ejemplos es la arquitectura TOURINGMACHINES (Ferguson, 1992), donde cada nivel está continuamente sugiriendo qué acción realizar y existe un sistema de control para garantizar el correcto funcionamiento del agente. La arquitectura INTERRAP (Müller, 1997) también actúa del mismo modo.

La arquitectura BDI (Belief, Desire, Intention) caracterizada porque los agentes que la implementan están dotados de los estados mentales de Creencias, Deseos e Intenciones (Haddadi y Sundermeyer, 1996) ha sido el modelo más difundido y el más estudiado dentro de los modelos de razonamiento de agentes. Hay varias razones para que esto haya ocurrido, pero quizás la más convincente es que el modelo BDI combina elementos interesantes: un apreciable modelo filosófico de razonamiento humano fácil de comprender, un número considerable de implementaciones (Georgeff, 1987), como por ejemplo sistemas de control de procesos, procesos de decisión en negocios, etc. y el desarrollo de una semántica lógica abstracta y elegante, la cual ha sido aceptada por la comunidad científica (Georgeff y Rao, 1998; Georgeff, 1999; Schild, 1999).

1.4 La cooperación en Sistemas Multiagente

La cooperación entre agentes es uno de los factores más importantes en el campo de la IAD (Demazeau y Muller, 1991). Se han llevado a cabo varios trabajos relacionados con este tema, que dan respuestas parciales a los problemas que presentan estos sistemas, fundamentalmente desde el punto de vista de agentes con arquitecturas deliberativas (Durfee, 1987; Conte, 1991), aunque también se ha estudiado la cooperación en agentes reactivos (Steel, 1994). En general no existe una visión global de la cooperación, y más bien son estudios sobre la ventaja de la cooperación, abordada desde una perspectiva referida a cómo llevar a cabo la cooperación o a cómo relacionar los agentes para que éstos cooperen.

Desde un punto de vista de estudio metodológico, en primer lugar hay que analizar qué se entiende por cooperación, o más en concreto de qué manera se produce la cooperación. Así, se pueden observar distintas maneras de entender la cooperación (Ferber, 1999):

- *La cooperación como una postura intencional.* En este caso los agentes deliberativos colaboran cuando coordinan sus acciones porque han identificado un objetivo común (Conte, 1991). La cooperación es una postura que adoptan intencionalmente los agentes, por lo que esta definición de cooperación no es aplicable a los agentes reactivos.

- *La cooperación desde el punto de vista del observador.* En este caso, la cooperación se describe externamente al estado interno de los agentes (Durfee, 1989). Se considera que un conjunto de agentes cooperan cuando un observador externo puede describir como cooperativas las acciones realizadas por los agentes. Un ejemplo típico es la cooperación que se establece en una sociedad de hormigas. Se han definido (Ferber, 1999) diversos índices o criterios que permiten valorar si realmente nos encontramos ante una situación de cooperación o no. Básicamente estos criterios pueden reducirse a dos fundamentales: (1) la adición de un nuevo agente a la sociedad puede mejorar el funcionamiento del grupo, (2) la acción de los agentes permite evitar o resolver conflictos futuros o actuales. El primer criterio permite evaluar si nos encontramos en una situación de interacción colaborativa y el segundo si la situación es de resolución de conflictos.
- *La cooperación como el incremento en la capacidad de supervivencia.* Esta perspectiva se manifiesta en entornos de vida artificial donde existen cazadores y presas. Cada individuo tiene una capacidad de supervivencia que puede verse incrementada al existir un conjunto de individuos que se organizan para llevar a cabo las tareas de supervivencia, como ocurre en la naturaleza.
- *La cooperación cómo una manera de mejorar las prestaciones del sistema.* En este caso, un observador externo evalúa el resultado del grupo de agentes de manera que si aparece una mejora del grupo sobre la suma de individuos se dice que los agentes están cooperando. Se pueden distinguir mejoras cualitativas y cuantitativas. Cuando se trata de mejoras cuantitativas, la eficiencia del grupo aumenta en algún parámetro: tiempo, consumo de recursos, etc., por ejemplo, en un problema de robótica donde un conjunto de robots deben recoger un conjunto de objetos. Si hubiese un único robot, éste debería ir y venir cada vez que encuentra un objeto; con un conjunto de robots que cooperan de manera que unos comunican a otros la posición en la que se encuentran los objetos, el tiempo de recogida es menor que la suma de tener el mismo número de robots que no cooperan y funcionan como un robot aislado. Las mejoras cualitativas se observan cuando al añadir un agente, el grupo es capaz de realizar alguna acción que anteriormente no era capaz de llevar a cabo. Por ejemplo, en el caso anterior añadir robots que apilan los objetos puede facilitar su recogida e implica una nueva funcionalidad para el sistema. En los ejemplos de las mejoras cuantitativas y cualitativas se observa que el resultado tiene ventajas cuantitativas (más robots iguales implica una reducción en los tiempos) y cualitativas (otro tipo de robot implica otra posible solución). Además pueden generarse ventajas cualitativas con alguna mejora cuantitativa (si un robot puede mover una masa límite de 50 Kg, cuando añadimos otro robot igual, al cooperar, juntos pueden mover una masa de 100 Kg) y ventajas cuantitativas con alguna mejora cualitativa (si añadimos robots que gestionan el tráfico de los otros robots se mejora el tiempo de recogida).
- *La cooperación como una manera de evitar los conflictos.* Si los agentes de una comunidad se ven inmersos en conflictos al acceder a recursos comunes y son capaces de resolverlos, se habla de una situación cooperativa.

Una vez analizadas las situaciones en las cuales puede observarse la existencia de cooperación entre agentes, vamos a describir los distintos métodos/técnicas que permiten que los agentes puedan cooperar. Cada uno de estos métodos se centra en una problemática distinta y cada

sociedad de agentes utilizará uno o varios de estos métodos al mismo tiempo. Los distintos métodos son (Ferber, 1999):

- *Agrupamiento y multiplicación.* Éste es el método más obvio, el método en sí mismo no es más que, por un lado, la agrupación de distintos agentes en una única entidad que funciona de forma coordinada (lo cual puede ser beneficioso para llevar a cabo una tarea común o para especializar a cada agente en un tarea específica) y, por otro, la generación de nuevos agentes equivalentes a los ya existentes, lo cual permite mejorar las prestaciones del sistema por el simple aumento de los individuos que forman parte de la sociedad.
- *Comunicación.* La comunicación es imprescindible para que exista cooperación. En sistemas de agentes con representación del conocimiento, esta comunicación se establece mediante mensajes. En sistemas de agentes reactivos la comunicación se establece mediante la observación de determinadas señales procedentes de otros agentes (posiciones, situaciones, etc.).
- *Especialización.* La especialización de un agente consiste en la adaptación del mismo a una tarea muy específica. Esta adaptación puede llevarse a cabo a priori durante el diseño del agente o mediante procesos de aprendizaje. La especialización de los agentes permite que las sociedades a las que pertenecen se beneficien de agentes con capacidades muy adaptadas a situaciones específicas. De esta manera se disminuye la complejidad de los agentes ya que no es necesario la existencia de agentes capaces de resolver muy diversas tareas.
- *Colaboración por la compartición de tareas y recursos.* Cuando un conjunto de agentes desean colaborar deben determinar quién hace el qué (distribución de tareas) y con qué (asignación de recursos). La distribución puede ser centralizada (un agente decide la distribución de tareas) o descentralizada (todos los agentes pueden proponer a los demás la ejecución de determinadas tareas). Dentro de la perspectiva descentralizada existen dos técnicas: la primera basada en la representación que cada agente tiene de las capacidades de los otros agentes (las redes de conocidos de Gasser (1987) y la segunda basada en el concepto de mercado (la "contract net" de Davis y Smith (1983)).
- *Coordinación de acciones.* En un conjunto de agentes hay una serie de tareas que deben gestionarse para alcanzar un objetivo global. Cuando se desarrolla un sistema centralizado, esta coordinación forma parte del propio proceso de resolución del problema, ya que el conjunto de tareas estará ordenado para ejecutar una determinada acción tras obtener los resultados de otra. En un sistema distribuido es necesario coordinar las tareas pues cada agente tiene sus propios objetivos.
- *Resolución de conflictos mediante arbitrio y negociación.* Mediante el arbitrio y la negociación se consigue que los agentes no entren en conflictos que pueden deteriorar las prestaciones del sistema completo. En el arbitrio existen un conjunto de leyes para todos los agentes a las que deben atenerse y suele existir un agente árbitro que se encarga de resolver los conflictos. En la negociación, cuando dos agentes entran en conflicto, tratan de resolverlo mediante un acuerdo bilateral; esta línea de investigación ha sido seguida por Lesser (Conry, 1988), Durfee (Durfee, 1989) y Sycara (1989).

El proceso de cooperación es un aspecto más general que la distribución y coordinación de tareas. Estos dos conceptos son claves para que exista la cooperación entre agentes. La colaboración entre agentes se centra en el estudio de los métodos para distribuir un conjunto de tareas entre un conjunto de agentes. La coordinación se preocupa del estudio de los procesos (o tareas) necesarios para que se lleven a cabo las tareas distribuidas en un conjunto de acciones sincronizadas en tiempo y en acceso a recursos, utilizando los mecanismos necesarios para evitar llegar a situaciones sin solución (al ejecutar una tarea B antes que una A, la modificación que sufre el entorno por efecto de la tarea B podría hacer imposible la ejecución de la tarea A).

1.5 Colaboración y Coordinación entre agentes

Por la colaboración entre los agentes se entiende la función de distribuir el "trabajo" (las tareas, los datos y los recursos) entre los diversos agentes que constituyen el sistema multiagente (Ferber, 1999). En cierto modo, la colaboración entre los agentes es la forma en la que se distribuyen las tareas entre ellos. Esta función de distribución debe realizarse en función de las capacidades de cada agente (capacidades cognitivas, habilidades, conocimientos que posee, compromisos del agente, etc.), de la naturaleza de las tareas, de la estructura social de la organización en la que se encuentran inmersos los agentes, etc. Aunque algunas de las ideas que se emplean en el campo de los sistemas multiagente son similares a las utilizadas en el área de la computación paralela (distribución de procesos entre máquinas), hay dos conceptos básicos que establecen la diferencia de los sistemas multiagente: el contrato y el compromiso. En un sistema multiagente la distribución se realiza en función de los contratos que se acuerdan entre los agentes, y dicha distribución se mantiene porque el agente se compromete a realizar una determinada tarea y ese compromiso pasa a ser un objetivo que debe cumplir el agente.

Cuando hablamos del problema de la distribución de tareas nos referimos a los mecanismos de la organización que permiten que los agentes combinen sus habilidades para realizar una tarea común (Sycara, 1998). Todo el proceso de asignación de tareas entre los distintos agentes se fundamenta en cómo son los agentes y cómo son las tareas. Entendemos el concepto de cómo son los agentes a través de la arquitectura con la que han sido desarrollados, las habilidades que pueden ejecutar, los conocimientos que poseen y las capacidades de comunicación. El concepto de cómo son las tareas involucra a los recursos que necesitan, a la división en subtareas y a los condicionantes del entorno.

Evidentemente, respecto de las tareas, el primer y fundamental punto es la subdivisión de las mismas. Habitualmente un experto en el problema es el que divide cada tarea en diferentes subtareas que tienen relaciones exclusivas (para llevar a cabo la tarea A puede ejecutarse la subtarea A1 o la subtarea A2) o conjuntivas (para llevar a cabo la tarea A debe ejecutarse la subtarea A1 y la subtarea A2). Bond, Gasser y Hill (Bond y Gasser, 1988) (Gasser y Hill, 1990) han resaltado la necesidad de definir las subtareas de manera que sean lo más independientes posible, de manera que se minimice la cantidad de información que se debe enviar a los agentes, al mismo tiempo que se reduce la necesidad de coordinación entre ellos.

Además del problema de la descomposición, debe analizarse cómo se comportan los agentes (que rol tienen). Básicamente pueden tener dos comportamientos: cuando piden a otros agentes la ejecución de una determinada tarea (clientes) o cuando suministran la ejecución de tareas

(servidores) (Ferber, 1999). Generalmente en un sistema multiagente cada agente es a su vez cliente y servidor (cómo ya hemos comentado la diferencia fundamental entre estos sistemas y los sistemas de computación distribuida se encuentra en la negociación y el compromiso) y precisamente esa característica hace que el problema de la coordinación sea clave a la hora de la resolución de problemas. Existen otros roles además del de cliente o servidor que se utilizan para facilitar el proceso de coordinar la distribución de tareas de manera que cada agente no deba pensar en qué agentes pueden realizar qué tareas para comunicarse con ellos, este tipo de agentes son conocidos en terminología anglosajona como *brokers* (realizan funciones para distribuir la información de intereses y necesidades respecto a las tareas) o *traders* (realizan funciones para comerciar el reparto de funciones entre los agentes).

El modo en el que se produce la asignación de tareas a agentes puede ser centralizado o distribuido (Ferber, 1999). En el caso de la asignación centralizada un único nodo es el encargado de realizar el reparto de tareas entre los agentes. En el caso de la asignación distribuida cada agente busca otros agentes que realicen algunas de las sub tareas de manera que se llega a una asignación de tareas que depende de todos los agentes. La diferencia fundamental entre los dos modos está en el número de agentes involucrados en el proceso de asignación, pero eso no explica cómo se realiza la asignación. Para concretar el proceso de distribución de tareas hemos de fijarnos en cómo se organizan los agentes y qué información y capacidad de decisión tienen. Una asignación centralizada de las tareas puede realizarse sobre una organización jerárquica o una igualitaria:

- Si se tiene una estructura jerárquica el sistema multiagente se comporta como un programa descompuesto funcionalmente, donde cada agente "esclavo" tiene como meta ejecutar una determinada rutina cuando el agente "maestro" así se lo pide.
- En una estructura igualitaria existen una serie de agentes (los *brokers* o *traders*) que gestionan la asignación, centralizando las peticiones de los clientes y las ofertas de servicio de los servidores. De esta manera, una gestión centralizada de la asignación de tareas puede adaptarse a una organización variable.

La asignación distribuida tiene sentido únicamente en una organización variable, de manera que en función del mecanismo de comunicación/negociación entre los agentes podemos definir dos tipos:

- El modelo de agentes conocidos (o red de agentes conocidos) donde cada agente tiene una representación de los demás agentes y de sus habilidades, de manera que puede conocer a quién realizar una petición de servicio. Evidentemente no es necesario que cada agente conozca a todos los demás agentes, ya que se puede utilizar el conocimiento de un agente que conoce a otro; es decir, que no es necesaria una red de agentes totalmente conectada pero sí que exista una conexión que enlace a todos los agentes de manera que una petición pueda llegar a cualquier agente de la red.
- La petición de ofertas o *contract net* (red de contratos): El agente realiza una petición a la que algunos agentes contestan con ofertas y el agente finalmente acepta la de mayor interés. Este modo es muy dinámico y fácil de implementar.

Estos dos tipos (o cuatro subtipos) de asignación de tareas están basados en una descomposición previa realizada por un experto de las tareas.

La coordinación de acciones se puede definir (Malone, 1988) como el conjunto de acciones suplementarias que deben realizarse en un sistema multiagente que debe alcanzar unos objetivos, suponiendo que si sólo tuviéramos un agente con los mismos objetivos (que el sistema multiagente) no podría alcanzarlos. Desde un punto de vista cooperativo, la coordinación de acciones es la forma en la que se articulan las acciones realizadas por cada agente para que el conjunto de agentes lleve a cabo una acción conjunta que sea coherente.

La coordinación permite a un agente obtener información y resultados de otros agentes que únicamente ellos pueden proporcionarle. Cuando los recursos son limitados y debe organizarse el acceso a ellos, la coordinación permite compartirlos de forma óptima. Mediante la coordinación también es posible reducir el coste aprovechando la sinergia de las acciones de varios agentes. La coordinación se produce en situaciones donde los agente tienen objetivos distintos pero que dependen unos de otros (no son independientes ni incompatibles, donde la coordinación no es necesaria).

Ferber define cuatro tipos de coordinación (Ferber, 1999): sincronización, planificación, reactividad y mediante la regulación. Las tres primeras se aplican en los sistemas multiagente, la última es de más difícil aplicación ya que está basada en la imposición de unas leyes universales que permiten la coordinación (por ejemplo, como ocurre con las normas de tráfico la preferencia la tiene el que circula por la derecha).

- **Sincronización de acciones.** Este tipo de coordinación se centra en la definición de tiempo de ejecución para las diversas tareas, de manera que se ejecuten con una determinada temporización. Son técnicas básicas de sistemas distribuidos y de paralelización de procesos. Son técnicas de alta rapidez, nada adaptables, con casi ninguna capacidad de predicción, se pueden utilizar en sistemas centralizados y distribuidos, y utilizan mensajes para su comunicación. Aunque limitan la libertad de acción, la calidad de la coordinación es buena, evita conflictos y permite un elevado número de agentes. Por otro lado, la cantidad de datos intercambiados no es excesiva, existe una representación de los otros agentes limitada, no es muy complicada de implementar, no permite que los agentes sean muy heterogéneos y tiene un grado de generalización muy bajo. Fundamentalmente la sincronización se ha estudiado en entornos industriales y de sistemas operativos. En sistemas multiagente se utiliza esta técnica para la sincronización de movimientos de robots, o para la sincronización en el acceso de recursos compartidos. Para la gestión del acceso a recursos en Ferber (1999) se opta por representar este problema mediante redes de Petri (donde la máquina es un nodo del espacio de estados que puede estar o no ocupado), mientras que en Georgeff (1983) usa un mecanismo de comunicación del sistema CSP (Hoare, 1985).
- **Planificación.** Esta coordinación utiliza las técnicas clásicas de planificación de la Inteligencia Artificial. El fundamento es la subdivisión de tareas en subtareas y su distribución, pero ha de tenerse en cuenta la capacidad de replanificar y la interacción entre los planes de los agentes. Son técnicas de baja rapidez, casi nada adaptables, con una alta capacidad de predicción, se pueden utilizar en sistemas centralizados y distribuidos, utilizan mensajes para su

comunicación, la libertad de acción está limitada, la calidad de la coordinación es muy buena, evita conflictos, permite un bajo número de agentes, la cantidad de datos intercambiados es muy alta, se necesita una representación de los otros agentes elevada, es muy complicada de implementar, no permite que los agentes sean heterogéneos y tiene un grado de generalización medio. La planificación puede verse, en un entorno multiagente, como tres pasos interrelacionados: pensar el plan, distribuir y coordinar las distintas acciones del plan y ejecutar las acciones. Si el primer paso lo realiza un agente, se habla de planificación centralizada, si cada agente construye su propio subplan entonces se habla de planificación distribuida. Si existe un agente que coordina los distintos subplanes se habla de coordinación centralizada de planes parciales. Por lo tanto se distinguen tres casos:

- A. Planificación centralizada para múltiples agentes. En este caso, un agente define el plan, lo subdivide en planes parciales y lo distribuye entre diversos agentes. La coordinación está limitada a la asignación de tareas y a su sincronización. Los dos casos extremos se producen: (1) cuando todos los agentes tienen definido a priori qué deben hacer (con la sincronización de las acciones se obtiene la coordinación), (2) cuando los agentes utilizan un modelo de *contract net* para distribuirse las tareas (la coordinación utiliza una distribución de tareas negociada y posteriormente la sincronización de la ejecución). Entre estos dos casos extremos puede haber todo tipo de configuraciones.

- B. Coordinación centralizada de planes parciales. Los agentes generan sus propios planes y luego los envían a un agente que se encarga de realizar la composición de todos los subplanes para dar lugar a un plan conjunto. Este agente puede considerar que las acciones pueden ser independientes (la ejecución de una no afecta a la otra), pueden tener una relación positiva (cuando la ejecución de una acción de un subplan está llevando a cabo la ejecución de otra acción de otro subplan) o tener una relación negativa (situación en la que el agente debe organizar las acciones de manera que no se produzca ningún conflicto).

- C. Planificación distribuida. En este caso no existe ningún agente central que resuelva los problemas que pueden aparecer al ejecutar los diferentes planes generados por los agentes. Una de las primeras aproximaciones a este problema fue el modelo funcionalmente adecuado (*Functionally Accurate Model FA/C*) propuesto por Lesser (1991). En este modelo, los agentes no tienen toda la información local necesaria para realizar sus acciones y realizan una comunicación asíncrona para intercambiar los resultados parciales. Este modelo utiliza estructuras desarrolladas en PGP (*Partial Global Planning*) por Durfee (1988). En PGP cada agente tiene tres niveles: en el primer nivel el agente tiene sus planes locales que definen las actividades futuras del agente con todo nivel de detalle; en el segundo nivel se encuentran representados los planes del agente de forma muy resumida, y por último, en el tercer nivel se encuentran los PGP, que resumen la información de todas las actividades globales. Realmente los PGP no son más que estructuras de datos que los agentes intercambian y contienen los objetivos y planes de los agentes. Un PGP contiene información sobre los planes que el agente debe mezclar, los objetivos que persigue, lo que el resto de agentes están haciendo o en proceso de hacer y el modo en el que los agentes interaccionan.

- **Coordinación reactiva.** La coordinación entre agentes reactivos se lleva a cabo mediante dos técnicas: la definición de un comportamiento reactivo que favorezca la coordinación y la inclusión de marcas en el entorno que sean captadas por otros agentes. La primera de las técnicas utiliza la observación de la naturaleza para descubrir qué reglas de comportamiento muy sencillas, que se encuentran en todos los agentes de una sociedad, hacen que el conjunto de los agentes realice una tarea compleja. El ejemplo más típico de aplicación es el movimiento organizado de una sociedad numerosa de agentes. El primer investigador en tratar este problema fue Reynolds (1987), la agregación de agentes (denominados "*boids*") con tres reglas de comportamiento muy sencillas, provoca el movimiento de toda la población. Las ideas de Reynolds han sido adaptadas a robots reales en el Mobot Lab de Brooks y en el MIT por Mataric (Mataric, 1992, 1994). En estos trabajos con pocas reglas se consiguen comportamientos del grupo de robots: seguir a un robot, distribuirse por un territorio, etc. Este tipo de comportamientos puede explicarse mediante una simple combinación de vectores, lo que da lugar a líneas de fuerza y gradientes que explican el comportamiento colectivo (Ferber, 1999). La segunda de las técnicas consiste en el marcado del entorno por parte de un agente para que esa marca afecte al resto de los agentes reactivos. Las marcas se utilizan fundamentalmente para la sincronización de acciones entre agentes reactivos. Los agentes depositan las marcas en el entorno para definir una determinada dirección o para indicar la realización de una determinada acción. La idea de estas marcas se encuentra en el comportamiento de los grupos de hormigas, y de las marcas depositadas por éstas para la realización caminos y la ejecución de tareas de forma colaborativa. Las marcas no tienen por qué ser permanentes y pueden irse debilitando con el tiempo, como ocurre con las marcas en la realidad.

1.6 Comunicación entre agentes

La comunicación entre los agentes les permite sincronizar acciones, enviar y recibir conocimiento, resolver conflictos en la resolución de una tarea, etc. (Russell, 1995). La comunicación es el soporte de la cooperación, coordinación y de los procesos de negociación que se dan entre los agentes. El proceso de comunicación permite que los agentes desarrollen sus acciones con una visión menos local, tras un proceso de sincronización con el resto de los agentes. Sin embargo, una excesiva comunicación puede dar lugar a agentes cuya sobrecarga de comunicación sea mayor que el trabajo efectivo realizado.

Antes de comenzar con el estudio de los lenguajes de comunicación resulta interesante analizar qué se entiende por comunicación y qué se quiere representar en un acto de comunicación. La teoría de la comunicación deriva de los estudios en telecomunicación de Shannon y Weaver en los años 40. En esta teoría, un acto de comunicación se define como el envío de información entre un emisor y un receptor. Además de las características de comunicación es necesario estudiar qué desea el emisor del receptor cuando envía un mensaje (la teoría de los actos lingüísticos) y cómo se relacionan estos actos cuando se produce una conversación. Los actos lingüísticos definen las diversas acciones (que llevan a cabo los agentes de manera intencional) que se desarrollan durante el transcurso de una conversación. La teoría de los actos lingüísticos establece las características de cada acto de forma individual. Cuando se establece una conversación se produce un intercambio de actos entre dos agentes, que da lugar a un conjunto de acciones y de cambios de estado interno en función de los distintos actos. Para

cada acto recibido por un agente deben definirse el conjunto de actos posibles que puede realizar y que en algunos casos darán lugar a un acto de respuesta. Evidentemente, este conjunto de posibles respuestas a un acto determinado deben definirse para cada uno de los agentes y especificará el comportamiento social del mismo. Para modelar este conjunto de posibilidades se pueden utilizar autómatas finitos o redes de Petri. El modelo basado en autómatas finitos (Winograd y Flores, 1986) se utiliza para la representación de la comunicación de un agente involucrado en una única conversación. Así, cada uno de los estados internos del agente se representa mediante un estado en el autómata finito y los actos lingüísticos que recibe y que emite le hacen transitar entre los estados. El modelo basado en redes de Petri se utiliza para representar múltiples conversaciones al mismo tiempo (Estrailier y Girault, 1992) aunque en el contexto de los sistemas multiagente todavía no ha tenido una amplia aceptación.

El hecho de que los agentes se comuniquen, tanto con otros agentes como con el medio en el que habitan, es un elemento representativo de este tipo de sistemas. Además, es fundamental que exista un mecanismo adecuado de comunicación entre agentes sobre todo en comunidades multiagente. Incluso se ha llegado a sugerir que una entidad es un agente software si y sólo si se comunica correctamente en un lenguaje de comunicación de agentes (Genesereth, 1994). Para que esta interacción e interoperación entre agentes software sea significativa, constructiva e inteligente se requieren tres componentes fundamentales y distintos:

- Un protocolo de transporte: formado por el mecanismo de transporte usado para la comunicación (por ejemplo, TCP, SMTP, HTTP, etc).
- Un lenguaje común: medio por el cual se realiza el intercambio de información. Este lenguaje indica cual es el contenido de la comunicación y si es una aseveración, una pregunta o una solicitud.
- Un protocolo de interacción: se refiere a la estrategia que sigue el agente para interactuar con otros agentes, la cual puede ir desde esquemas de negociación y protocolos basados en teoría de juegos hasta protocolos muy simples en los que cada vez que el agente no sabe algo busca otro que lo sepa y le pregunta.

Los lenguajes de comunicación comunes facilitan la creación de software interoperable, de forma que los agentes o componentes pueden comunicarse independientemente del lenguaje en el que han sido implementados. En este caso, se establece una separación entre la implementación de los agentes o componentes y del interface. Existen actualmente dos puntos de vista en el diseño de estos lenguajes:

- **Lenguajes procedurales:** la comunicación se modela como un intercambio de directivas procedurales, pudiendo transmitir además de comandos, programas enteros que permiten a los agentes alcanzar sus objetivos. Las ventajas de estos lenguajes procedurales es que son sencillos y su ejecución es eficiente y directa. Sin embargo, y desafortunadamente, existen desventajas. Estos lenguajes requieren que se tenga información sobre los agentes que recibirán los mensajes, información que a veces no está disponible para el agente emisor. También existe el problema de que los procedimientos son unidireccionales. Mucha de la

información que los agentes requieren compartir debe estar disponible en ambas direcciones (transmisión-recepción, y viceversa). Lo anterior puede complicarse cuando un agente recibe varios "scripts" provenientes de múltiples agentes que trabajan simultáneamente y que pueden interferir entre sí. La mezcla de información procedural es más complicada que la de información de tipo declarativa. Suelen usarse lenguajes de intérpretes de órdenes (*scripts*) tales como Perl, Tcl (Gray, 1997), Apple Events, Telescript (White, 1994), etc. Estos lenguajes permiten un rápido prototipado aunque no suelen ser fácilmente escalables ni reciclables. Son especialmente útiles para la construcción de agentes en aplicaciones finales como, por ejemplo, agentes de usuario o agentes móviles.

- **Lenguajes declarativos:** la comunicación tiene lugar utilizando enunciados declarativos, es decir, intercambio de declaraciones (definiciones, suposiciones, etc), por lo que necesita que el lenguaje sea lo suficientemente expresivo (como para comunicar diferentes clases de información) y compacto. Varios Proyectos ARPA han hecho posible que la iniciativa *Knowledge Sharing Effort* haya permitido definir los componentes del lenguaje de comunicación de agentes KQML (*Knowledge Query Manipulation Language*) (Genesereth, 1994) (ARPA, 1992). El otro estándar ha sido desarrollado por FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agent*) y se denomina ACL (*Agent Communication Language*). Al final, las diferencias entre uno y otro lenguaje han desaparecido y se puede hablar de un único estándar donde el lenguaje ACL es una generalización del KQML.

2. Áreas de Aplicación de la Tecnología de Agentes

Existen multitud de dominios en los que se están aplicando con éxito los principios de la tecnología de agentes y sistemas multiagente. En esta sección únicamente se resaltarán las áreas más notables y se resumirán algunas aplicaciones desarrolladas recientemente. Dada la gran cantidad de aplicaciones existentes, se sugiere al lector interesado consultar, a modo de ejemplo, las direcciones (<http://agents.umbc.edu/>) y (http://www.ri.cmu.edu/project_lists/). En términos generales, las aplicaciones de agentes inteligentes pueden dividirse en dos grandes grupos (Wooldridge, 2002). Por un lado están los asistentes personales, en los que los agentes juegan el papel de asistentes proactivos para los usuarios de ciertas aplicaciones, en los que el usuario puede en ocasiones delegar sus decisiones. En este caso el énfasis se pone en los agentes individuales, si bien estos agentes deben interactuar con otros para alcanzar los objetivos del usuario. Por otro lado, están los sistemas distribuidos, donde los agentes son nodos de una entidad definida y con unas misiones globales claras. Por tanto, hay un mayor énfasis en el aspecto del diseño de la coordinación multiagente para cumplir los objetivos de alto nivel. Podría decirse, con el riesgo de simplificar mucho, que en el primer grupo de aplicaciones entran en contacto agentes que representan múltiples organizaciones o individuos, mientras que en el segundo los agentes pertenecen a una misma organización. En el primer grupo podemos destacar las aplicaciones de gestión de información, como asistentes personales de escritorio, agentes de búsqueda y recuperación de información, gestión del correo, o sistemas de comercio electrónico. En el segundo grupo se incluirían aplicaciones industriales, como sistemas de producción y control de procesos, gestión de negocios, agentes de Intranets, sistemas de

telecomunicación, sistemas de transporte, sistemas de vigilancia distribuida, robótica, aplicaciones médicas, o entornos virtuales y juegos.

2.1 Agentes en Internet

Las aplicaciones de los agentes a los problemas de Internet se realizan desde dos perspectivas: por un lado, la necesidad de contar con una metodología que facilite el proceso de diseño y desarrollo de aplicaciones distribuidas y, por otra parte, la necesidad de incluir en algunos desarrollos cierta inteligencia en el agente que le permita representar e incluso "suplantar" al usuario que lo utiliza. A la hora de desarrollar aplicaciones que utilicen la Web como dominio hay que tener en cuenta una serie de características que impiden la utilización del diseño tradicional de aplicaciones: por un lado, Internet es un sistema distribuido de nodos sin ningún tipo de estructura predefinida (Knoblock, 1998) y, por otro, resulta imposible utilizar el total de la red, debido a que se desconoce ese total (Lawrence y Giles, 1998). La no estructuración de la información se refiere a la información contenida en las páginas html y a las diversas aplicaciones que se encuentran en los servidores y que son utilizadas como entrada para suministrar información, productos, servicios, etc. Para desarrollar cualquier tipo de aplicación en Internet debemos considerar que dicha aplicación debe ser distribuida (de manera que pueda acceder a distintos nodos simultáneamente); debe ser fácilmente modificable, para poder adaptar la aplicación a los cambios que se producen frecuentemente en los nodos (Genesereth y Ketchpel, 1994); deben desarrollarse partes de la aplicación de propósito general y partes específicas para cada uno de los nodos; y, tal vez, debamos incluir alguna "inteligencia" que le permita representar al usuario (Gilbert, 1995).

2.2 Agentes escritorio

Este tipo de agentes (*desktop agents*) residen en los PC o estaciones de trabajo, y se ejecutan localmente en el sistema operativo de trabajo. El denominador común es que desarrollan un modelo del usuario que recoge sus preferencias en la utilización de la máquina, de manera que permiten la delegación de la toma de decisiones del usuario en ellos (Camargo, 1996). Existen agentes del sistema operativo, que realizan tareas que precisan interacción del usuario con el sistema operativo, y agentes de aplicaciones específicas (o *suites* de aplicaciones, por ejemplo de Microsoft), que ejecutan tareas de usuario en representación de éste. Por ejemplo, Windows desarrolla las aplicaciones "System Agent", para sus diferentes versiones de sistema operativo, que son aplicaciones en *background* que lanzan tareas al sistema operativo delegadas por el usuario. Por ejemplo, algunas tareas automatizadas por estos agentes son la configuración automática de interfaces en ciertas sesiones interactivas, mantenimiento del disco duro, limpieza de directorios y compresión automática, ventanas de ayuda lanzadas de forma proactiva, etc. De la misma manera, existen agentes para aplicaciones específicas, conocidas popularmente como "*wizards*", que proporcionan ayuda orientada a ciertas tareas utilizando la metáfora del diálogo. Podemos mencionar Lotus SmartAssistant, MacOS Expert, el Clip de Word, etc.

Las aplicaciones de correo electrónico también han ido evolucionando para mejorar su utilización por los usuarios. Asimismo, se han introducido agentes inteligentes para

automáticamente organizar el correo electrónico, mediante reglas inferidas del comportamiento y patrones del usuario. Un ejemplo es el sistema MAXIMS (Maes, 1994).

2.3 Agentes de búsqueda de eventos e información

Estos agentes buscan contenidos de particular interés para un usuario usando diferentes fuentes de información. A diferencia de los agentes buscadores de Internet utilizados en los portales, que trabajan sobre información estática con consultas dinámicas, estos agentes filtran la información dinámica empleando consultas constantes (el perfil del usuario) configuradas según las preferencias del usuario que representan. Pueden ser útiles, por ejemplo, para actualizar las configuraciones hardware, seleccionar noticias internacionales, financieras, políticas y económicas relevantes para una firma de inversión, seguir noticias de un determinado perfil, etc. Además, existe la posibilidad de notificar a los usuarios ciertos eventos, cambios en el estado de la información como contenidos en una determinada página Web, adiciones a los motores de búsqueda para una determinadas palabras clave, comunicación de agenda personal (cumpleaños, etc.). Hay además agentes que proporcionan un determinado servicio a usuarios, como búsquedas para compra de un determinado artículo, comprobación de determinados requisitos, etc. Estos agentes no sólo contestan preguntas sino que continuamente buscan información de interés y alertan al usuario, e incluso le sugieren determinadas decisiones. Por ejemplo, el sistema WARREN (Sycara, 1996) es un sistema multiagente que permite gestionar inversiones financieras a través del seguimiento del mercado de valores, noticias financieras, informes especializados de analistas, resúmenes económicos, etc. Este sistema utiliza la arquitectura multiagente RETSINA (Sycara, 2003), a la que haremos referencia más tarde al presentar una aplicación de robótica para detección de minas en superficie.

Otro ejemplo de agente de filtrado de información es el agente de comparación de precios. La idea es muy similar a la de los agentes de búsqueda, pero especializados en comparación de precios y representación de los gustos del usuario en relación a ciertos productos. Estos agentes se instalan en el disco duro o se ejecutan desde una página Web y permiten buscar entre distintos servidores Web cuál es el lugar donde se encuentra mas barato un producto. Un ejemplo es Jango (Wooldridge, 2002), que permite especificar requisitos de productos, hacer recomendaciones, buscar el mejor precio, ofertas, descuentos, etc. Existen multitud de aplicaciones especializadas en diferentes sectores, por ejemplo los buscadores de billetes aéreos, como Kelkoo (<http://es.kelkoo.com/>) o Webviajes. Existen agentes especializados para buscar información y filtrado de Internet en ciertos contextos. Uno de los principales obstáculos de este tipo de aplicaciones, ya sean del tipo que se ejecutan en la máquina del usuario o de los que se ejecutan en un servidor y son accesibles vía Web, es que las páginas Web son todas diferentes, por lo que se intenta explotar ciertas regularidades en ellas para realizar predicciones acerca de su contenido.

2.4 Comercio Electrónico

El comercio electrónico es otra área de gran crecimiento dentro de Internet donde se utilizan los agentes inteligentes. Los compradores necesitan encontrar vendedores de productos y servicios, necesitan información de los productos (incluyendo especificaciones técnicas, gama de

configuraciones, etc.) que solucionen sus problemas, y también precisan de consejo experto tanto antes de la compra como después, durante el soporte. Los vendedores necesitan encontrar compradores y tendrán que proporcionar consejo experto sobre sus productos o servicios al igual que soporte y servicio al cliente. Ambos, compradores y vendedores, necesitan automatizar el manejo de sus transacciones comerciales. Todas estas actividades comerciales que se realizan en Internet se engloban dentro de lo que se ha venido en llamar el *e-commerce* (comercio electrónico). El comercio electrónico se puede definir como el intercambio comercial de valor (productos, servicios e información) en el que algunas o todas las fases se desarrollan a través de Internet. Los agentes inteligentes pueden ayudar en el comercio electrónico de varias maneras (Chavez, 1996; Camacho, 2001). Pueden ir de compras para un usuario, coger las especificaciones de lo que se desea y devolverlas con recomendaciones de posibles compras, etc. Pueden también servir de vendedores proporcionando productos o servicios, y ayudar con los posibles problemas que tengan los clientes.

Los agentes de búsqueda de productos, comparación de precios, ofertas, etc., mencionados en el epígrafe anterior son los primeros ejemplos de aplicaciones para comercio electrónico, si bien enfocadas como asistentes para la toma de decisiones del comprador individual. Otra área activa en el área de comercio electrónico son los robots de subastas (*auction bots*), agentes que pueden participar en subastas *on-line* de ciertos productos. Ejemplos conocidos son el sistema Kasbah (Chavez, 1996), en el que el usuario vendedor establece su criterio para los agentes vendedores: fecha deseada, precio deseado, precio mínimo, etc., de modo que los agentes comienzan por ofertar el bien al precio deseado y después el precio se va reduciendo hasta el mínimo, con ciertas funciones matemáticas. Del mismo modo, los agentes compradores emplean estrategias de oferta con ciertos criterios y preferencias preestablecidos. Existe un producto similar a Kasbah desarrollado en España, Spanish Fishmarket (Rodríguez, 1997), que está basado en el mercado real de pescado que se desarrolla en la ciudad de Blanes. Los agentes de subastas electrónicas operan en un entorno, el mercado (*marketplace*), que gestiona un número determinado de subastas simultáneas, poniendo en contacto a los agentes vendedores y compradores. Se distinguen las transacciones individuales entre consumidores (C2C, *Consumer to Consumer*) y las que suponen contacto de empresas con consumidores (B2C, *Business to Consumer*). El ejemplo más conocido de estos entornos es eBay, que tiene hasta un 60% del valor total de ventas realizadas de este modo. Se estima que existen unos 2000 sitios con estas características.

2.5 Sistemas de producción y control de procesos

El problema de gestionar un sistema de producción puede modelarse como una jerarquía de células de trabajo que se agrupan para proporcionar funcionalidades (por ejemplo ensamblar, pintar, embalar, almacenar, etc.), en lo que se llama sistemas flexibles de producción (FMS) (Jennings, 1998). Una sola organización puede tener diferentes centros de producción dispersos geográficamente, con redundancia en funcionalidades y capacidades. El objetivo es gestionar de forma eficiente la producción en estas plantas, ajustando continuamente parámetros tales como productos a fabricar, recursos disponibles, restricciones temporales, etc., utilizando agentes para representar cada fábrica o cada componente. Un ejemplo de sistema multiagente para gestión de FMS es YAMS (*Yet Another Management System*) (Panurak, 1987).

El control de procesos es una aplicación bastante natural de los sistemas multiagente, puesto que los controladores son directamente sistemas autónomos reactivos, sobre los que pueden desarrollarse directamente agentes coordinados. Estos principios se han aplicado a sistemas multiagente que controlan sistemas de gestión de transporte de fluido eléctrico, monitorización y diagnosis en plantas de energía nuclear, o producción de cables de acero. Un ejemplo de control de procesos en centrales eléctricas con un sistema multiagente es el sistema ARCHON (Jennings, 1996).

2.6 Workflow y Gestión Administrativa

La gestión administrativa controla el flujo de trabajo, información y documentación de una organización. En estas áreas, los usuarios necesitan no sólo hacer los procesos más eficientes, sino también reducir el coste de los empleados. Los agentes inteligentes pueden ser utilizados para extraer información elaborada, y de esta forma automatizar los deseos del usuario o los procesos de negocio. Los sistemas de *workflow* pretenden automatizar la gestión de un negocio, asegurando que las diferentes tareas se asignan a las personas apropiadas en el momento apropiado, las excepciones se detectan y resuelven, monitorizando además continuamente que el flujo de documentación es el adecuado dentro de la organización. Por ejemplo, podríamos considerar en una empresa de servicios la división de relaciones con el cliente, el departamento de diseño y desarrollo, y el departamento legal, así como organizaciones que proporcionan servicios externos (*outsources*).

En el momento en que un cliente establece requisitos de un determinado servicio, se precisa ligar los requisitos con los servicios disponibles que puede dar la empresa, para determinar hasta qué punto pueden cubrirse, y qué elementos nuevos se precisan desarrollar, así como determinar las implicaciones legales del proceso. Un ejemplo de aplicación de un sistema multiagente a este problema es el sistema ADEPT (*Advanced Decision Environment for Process Tasks*) (Jennings, 2000). En la actualidad, los esfuerzos se dirigen a sistemas de *workflow* que crucen los límites de múltiples organizaciones (*Inter-Organizational Workflows*, IOWs) (Omicini, 2001). Este concepto se apoya en herramientas de bajo nivel que facilitan interoperabilidad, con Internet proveyendo la infraestructura de comunicación, y se centra en resolver problemas abiertos en nuevos contextos de trabajo, como la interoperabilidad semántica a nivel de negocio. Los agentes inteligentes en este ámbito se han utilizado con dos tipos de aproximaciones: agentes que dan un valor añadido, proporcionando una capa de servicios específica, como filtrado de mensajes, o activación de señales de compromisos pendientes, y sistemas que reformulan el sistema globalmente en términos de agentes.

2.7 Agentes en Intranets

Las redes corporativas que están basadas en la tecnología de Internet (básicamente comunicación con protocolo TCP/IP y herramientas software basadas en HTTP) constituyen las redes Intranet, accesibles por los empleados de una organización, así como por ciertos clientes y proveedores autorizados. De esta manera, se define un área en la que los usuarios trabajan juntos o comparten documentos, usando sistemas de vídeo-conferencia, o compartiendo recursos adicionales a través de la red. Los elementos fundamentales son los recursos

compartidos y el trabajo en grupo, precisándose una infraestructura que les permita hacerlo de forma robusta y escalable. En este contexto, un agente Intranet reside en un servidor HTTP, y ayuda en los procesos de gestión, de manera que éstos pasan a ser una colección de agentes autónomos involucrados en tareas interdependientes. Puede realizarse una analogía entre las aplicaciones de agentes de Internet, y las aplicaciones de agentes Intranet, especializados para una organización. Existen aplicaciones de agentes Intranet para realizar búsquedas en servidores corporativos, que utilizan las bases de datos corporativas y adicionalmente acceso a Internet, empleando un formato de navegador Web. Como aplicaciones basadas en agentes Intranet podemos mencionar (Caglayan, 1997) los motores de búsqueda Surfboard, de Fulcrum, donde el usuario especifica criterios de búsqueda tal y como se hace en las herramientas de Internet, para buscar en los documentos de la empresa (documentos de texto, bases de datos relacionales, tableros de noticias, etc.). También existen agentes de filtrado de información, que crean vistas personalizadas de la información accesible de la empresa, por ejemplo TopicAGENT, de Verity, que crea perfiles especializados a cada usuario, asignando agentes que les representan. Otra aplicación típica en Intranets son las herramientas de colaboración, que facilitan funciones para gestionar grupos de trabajo en la empresa. Un desarrollo en este campo es la aplicación de grupo de trabajo llamada Lotus Notes, que facilita gestión de documentos, seguimiento de recursos, gestión de agendas, grupos de discusión, filtrado colaborativo de información, etc.

2.8 Sistemas de telecomunicación

Los sistemas de telecomunicación son redes muy amplias de componentes que deben monitorizarse y controlarse en tiempo real, con el objetivo de proporcionar servicios más rápidos y fiables a sus clientes. La tecnología de agentes ha impactado fuertemente en la gestión de redes y sistemas, por un creciente uso del modelo cliente/servidor, especialmente en el área de las LANs. Los usuarios que utilizan estos sistemas (principalmente operadores y administradores de sistemas) necesitan una gestión más simplificada para afrontar la creciente complejidad. Se ha pasado de una funcionalidad rígida a incorporar una continua mejora del software de gestión, a través de agentes inteligentes, para lograr una diferenciación de los servicios ofrecidos.

Los agentes pueden ayudar a filtrar y a realizar acciones automáticas a un alto nivel de abstracción y permiten gestionar grandes configuraciones dinámicamente. Por ejemplo, Griffeth (1994) propone una estrategia de negociación multiagente para coordinar las diferentes entidades necesarias para establecer cada llamada, resolviendo los conflictos que puedan aparecer. Por otro lado, de la misma manera que la informática ha evolucionado de la máquina centralizada hacia las redes, los usuarios lo han hecho hacia una mayor movilidad. Ahora no sólo se precisa un acceso a los recursos de la red desde cualquier ubicación, sino que además este acceso debe ser satisfactorio a pesar de las limitaciones de ancho de banda que presenta la tecnología móvil. Los agentes inteligentes, que en este caso residen en la red y no en los ordenadores de los usuarios, pueden gestionar estas necesidades. Además, los agentes pueden procesar datos y mandar únicamente respuestas comprimidas a los usuarios, más que sobrecargar la red con grandes cantidades de datos sin procesar. Actualmente, se están realizando muchos desarrollos en este campo centrados en dar servicios a los usuarios de la telefonía móvil; estos servicios previsiblemente deberán ampliarse para soportar futuros servicios.

2.9 Sistemas de transporte

En el sector del transporte apareció una de las primeras aplicaciones distribuidas multiagente, concretamente en el ámbito del Control de Tráfico Aéreo, OASIS (Ljunberg, 1992). En este sistema, implementado en el aeropuerto de Sydney, existen agentes que representan las aeronaves y diferentes elementos de control de tráfico aéreo. El agente que representa cada aeronave tiene como objetivo aterrizar en una cierta pista en un determinado instante, y para ello negocia con los agentes responsables de la gestión de tráfico. Más recientemente, las técnicas de agentes se estudian para su potencial aplicación en un elemento clave de los sistemas de gestión de tráfico aéreo en ruta y la detección y resolución de conflictos en un futuro contexto distribuido de vuelo libre (Perry, 1997).

La resolución de conflictos necesita una serie de acciones tras su detección, y este planteamiento descentralizado implicará reasignar las tareas de control desde los centros de ATC hacia los agentes que representan las aeronaves. Existen dos tipos de planteamientos para este propósito: el primero se basa en métodos reactivos para optimizar las trayectorias de las aeronaves (Zeghal, 1998), donde cada aeronave tiene una función de coste dentro de un problema de optimización multi-objetivo, que puede abordarse con técnicas de campos de fuerzas, similares a los aplicados a problemas de coordinación en robótica. El segundo planteamiento utiliza principios de negociación de agentes deliberativos (Harper, 2002). Cada agente intenta optimizar un plan de acuerdo a sus intereses, primero creado individualmente y después coordinado con el resto de agentes hasta que desaparecen los conflictos. Dentro de este planteamiento, destacan las propuestas realizadas en el Ames Resarch Center de la NASA, a las que nos referiremos en una de las aplicaciones de la siguiente sección.

2.10 Sistemas de vigilancia distribuida

Otra de las aplicaciones clásicas de la tecnología multiagente es la de los sistemas distribuidos de vigilancia y seguimiento, a través de una red de sensores distribuidos espacialmente, por ejemplo, una red de radares para defensa aérea (Molina, 2004). El objetivo global de la red es monitorizar y seguir todos los objetos que pasan dentro del área cubierta, que será el resultado de la unión de las coberturas de los sensores individuales. Esta tarea puede realizarse si los nodos en la red cooperan intercambiando información acerca de los objetos móviles que se mueven en las zonas solapadas, de manera que se puede hacer una asignación óptima de recursos de detección y procesado local en los sensores para cubrir los objetivos de alto nivel (vigilancia de toda la cobertura con un retardo mínimo de actualización, seguimiento de todos los objetos de interés en el escenario, con tasas de refresco en función de su prioridad, etc.). La aplicación pionera de este tipo fue DVMT (*Distributed Vehicle Monitoring Testbed*) (Durfee, 1989), que permitió además poner a prueba muchos de los conceptos del desarrollo de las técnicas multiagente.

Hoy en día podemos mencionar el traslado de esta filosofía de gestión distribuida de sensores al campo de la visión artificial con cámaras activas. En este caso, el objetivo es automatizar una gestión coordinada de la red de cámaras desplegadas en un cierto espacio de vigilancia, determinando la asignación espacio temporal de las cámaras (qué zonas son cubiertas en cada momento), así como el procesado de los datos (qué objetivos son seguidos por cada nodo).

Podemos destacar el proyecto de Visión Artificial Distribuida desarrollado en la universidad de Tokio (Matsuyama, 2002).

2.11 Aplicaciones de robótica

Las aplicaciones de robótica han evolucionado desde la teoría clásica de control a sistemas que requieren de la interacción de múltiples elementos autónomos, que deben ser capaces de tomar decisiones ante condiciones impredecibles. La aplicación de las técnicas multiagente a este campo pusieron de manifiesto las limitaciones de las arquitecturas deliberativas para reaccionar en tiempo real ante situaciones muy dinámicas. Surgió la necesidad de otras alternativas como son las arquitecturas reactivas, de subsunción, e híbridas, que extienden el paradigma de toma de decisión más allá de las deducciones generadas a partir de una representación puramente simbólica. La clave de estas aplicaciones en robótica es el comportamiento inteligente que emerge de la interacción de comportamientos simples individuales, y en un entorno y circunstancias específicas. La primera aplicación propuesta de un sistema multiagente de robots es la descrita por Brooks (1990), aunque realmente es una simulación que sirvió para desarrollar estos conceptos. Se trata del sistema explorador remoto MARS, que pretende recoger muestras de roca en un planeta distante, utilizando vehículos autónomos que se despliegan en la superficie para tomar muestras y después volver a la aeronave. Toda la coordinación está basada en patrones de movimiento de los vehículos basados en la intensidad de señal emitida por otros vehículos, la presencia de rocas en la proximidad, y el estado del propio vehículo (transportando rocas o vacío).

Con planteamientos similares a estas ideas generales, aparecen técnicas de coordinación de robots para competiciones en equipo, destacando el dominio de RoboCup (www.robocup.org). Otro ejemplo es RETSINA, un sistema desarrollado por el grupo de Agentes Inteligentes de la Universidad de Carnegie Mellon, que pretende la eliminación de minas con robots y una arquitectura multiagente, AgentStorm. Los agentes de eliminación de minas interactúan para encontrar rutas, permitiendo la eliminación de campos de minas. Otro campo de aplicación de los agentes a la robótica son los robots móviles autónomos que pueden aprender, especialmente aquellos que deben interactuar con personas. Así, podemos mencionar el proyecto ISAC, desarrollado en la Universidad de Vanderbilt (www.darpa.mil/ito/research/mars). ISAC es un humanoide que consta de músculos neumáticos, efectores, manos con seis ejes con sensores en las palmas y dedos, así como visión estéreo y localización de sonidos.

Por último, otra aplicación de entornos virtuales y defensa es el desarrollo de vehículos no tripulados para misiones de alta peligrosidad. Por ejemplo, la Universidad de Michigan ha desarrollado el proyecto de vehículos de tierra sin tripulación (UGV, *Unmanned Ground Vehicles*) (Durfee, 1999) para operar en áreas contaminadas y entre líneas enemigas, permitiendo al usuario humano (a distancia) el reconocimiento, vigilancia y adquisición de objetivos.

2.12 Juegos y entornos virtuales

En estas aplicaciones, las interacciones entre los agentes permiten construir un entorno virtual donde el usuario se relaciona a través de su agente con los otros que conviven en ese escenario, ya sea para realizar juegos, simuladores, etc., con el objetivo de lograr un alto realismo. Así, existen

aplicaciones que permiten al usuario jugar un papel análogo al realizado por actores humanos en el cine, interactuando con personajes artificiales que se comportan como gente real. Estos agentes se suelen denominar agentes "creíbles" (*believable*) (Wooldridge, 2002), es decir, proporcionan la ilusión de vida real. En el campo de juegos, podemos mencionar el juego *Creatures* (Grand, 1998), basado en agentes inteligentes que interactúan con el usuario en tiempo real. Son animales domésticos que van desarrollándose en función de la experiencia durante el juego.

Otra área importante de los agentes en el campo de los entornos virtuales es la concepción y desarrollo de simuladores de guerra. Por ejemplo, DARPA desarrolla el simulador EKSL (*Experimental Knowledge Systems Laboratory*) (<http://eksl-www.cs.umass.edu/research/ctf/>) (Atkin, 1998), destinado a analizar los requisitos de agentes autónomos operando en entornos complejos que representen condiciones del mundo real. Dentro de este mismo campo de aplicación, podemos mencionar también arquitecturas multiagente para la simulación de combate aéreo desarrolladas por el Departamento de Tecnología y Ciencia para Defensa de Australia. Se proponen arquitecturas deliberativas de tipo BDI (*Beliefs, Desires, Intentions*) para analizar y modificar tácticas en combate aéreo, permitiendo mostrar gráficamente los resultados y analizar las situaciones simuladas (Lucas, 1999).

2.13 Aplicaciones de medicina

La informática médica experimenta un gran crecimiento en la actualidad, surgen nuevas aplicaciones continuamente en este campo, por lo que no es extraño que las técnicas multiagente también se estén introduciendo aquí, principalmente en monitorización de pacientes, y en cuidado de salud. En monitorización, aparecen aplicaciones para gestionar el cuidado de pacientes en unidades de cuidados intensivos. Están motivadas porque se precisa un equipo de expertos que necesitan compartir información especializada y actualizada de forma rápida y precisa. Un ejemplo de este tipo de sistemas es GUARDIAN (Larsson, 1996).

Relacionado con este campo y con el de entornos virtuales, el juego HEART-SENSE (Jain, 2002) pretende mejorar el reconocimiento de síntomas de ataque al corazón y educar a la población de riesgo para reducir el retardo en hospitalización y por tanto la mortalidad. Es un sistema interactivo que consta de un simulador para promocionar el cuidado de salud y agentes pedagógicos (personas virtuales) que razonan interactivamente con los pacientes acerca de cómo su estado emocional se relaciona con su salud.

3. Ejemplos de aplicaciones con tecnología de agentes

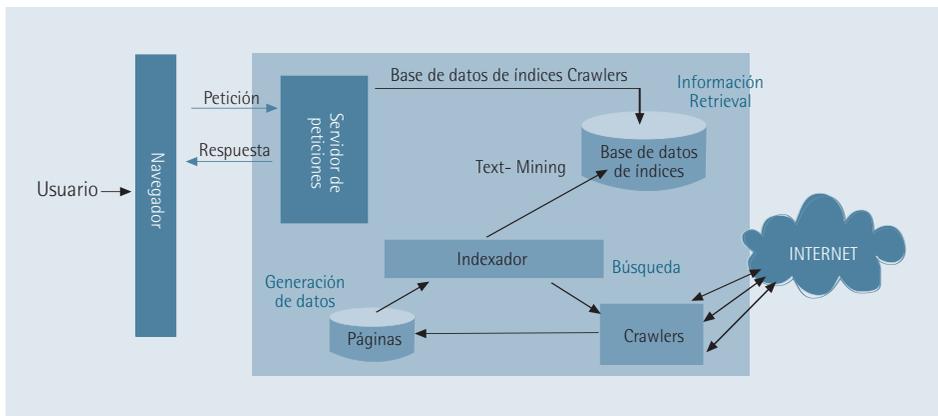
3.1 Agentes de búsqueda de información en Internet

Normalmente, motores de búsqueda como Yahoo (www.yahoo.com), Google (www.google.com), Excite (www.excite.com), Infoseek (www.infoseek.com), Altavista (www.altavista.com), etc., catalogan la red para proporcionar servicios de búsqueda. Un buscador se muestra al usuario como

una página web interactiva, su uso es gratuito y en general consiguen el patrocinio de marcas que se anuncian en sus páginas. Existen diferentes tipos de buscadores, algunos son de propósito general y otros sólo recogen información de un tema concreto (los buscadores temáticos); además, existen lo que se denomina multibuscadores, que hacen uso de los buscadores existentes realizando una búsqueda en paralelo e integrándola posteriormente. Relacionados con los buscadores están los buscadores de buscadores (www.buscoopio.com, www.buscaya.net), las guías (www.qdq.com) o los buscadores particulares de sitios Web que contienen mucha información. Al ir integrando cada vez más servicios, los buscadores han evolucionado hacia lo que se conoce como portales, ya que son una puerta de acceso a multitud de información contenida en la red.

En general, un buscador permite realizar dos tipos de búsqueda: por palabras claves o bien por categorías. La búsqueda por categorías o índices se realiza en aquellos buscadores que poseen un árbol temático (jerarquías) que el usuario puede recorrer. La búsqueda por palabra clave se realiza siempre y se basa en la notificación por parte del usuario de palabras clave al motor de búsqueda, el cual devuelve una lista de URLs que encajan en la lista de palabras clave. La búsqueda se lleva a cabo sobre una base de datos que se crea a partir de la información recopilada de Internet. La tarea de recopilar la información la realizan los robots de la red que se emplean en cada motor de búsqueda. En la *figura 1* podemos observar que el agente buscador está compuesto de una base de datos, de un indexador y de un conjunto de agentes que acceden a Internet para recuperar páginas en Web (*crawlers*, *spiders* o robots de red).

FIGURA 1. *Arquitectura de un buscador en Internet.*



Los *crawlers* bajan las páginas web en html y las almacenan, el indexador analiza estas páginas y extrae aquellas palabras que mejor las definen; posteriormente se almacenan las URL indexadas por sus palabras claves y es a esta última base de datos dónde realmente accede el usuario. Muchas técnicas se integran en un buscador, desde el acceso del usuario hasta el proceso de bajar URLs. Cuando el usuario accede a la entrada del buscador habitualmente debe introducir las palabras claves por las que desea buscar; en este paso es posible aplicar técnicas que permiten completar el texto, corregirlo, buscar por sinónimos, etc. La consulta y generación de la base de datos de índices forma parte del proceso clásico de *Information Retrieval* de generación de índices inversos a partir de una colección de documentos. Se pueden aplicar

técnicas de *Machine Learning* (Aprendizaje Automático) para la clasificación de los índices, generando así directorios por los que el usuario puede navegar. En el acceso a Internet para la recuperación de páginas pueden aplicarse técnicas de búsqueda heurística, clásicas de Inteligencia Artificial, para optimizar el recorrido de cada *crawler* y del conjunto de *crawlers*.

Tal vez el buscador que actualmente presenta unos mejores resultados y es más ampliamente utilizado es Google (nombre que proviene de un googol que es una unidad de 10 elevado a 100, y fue elegido por Brin y Page para dar idea de que iba a ser un buscador capaz de indexar una gran cantidad de páginas). La arquitectura de Google (Brin y Page, 1998) es similar a la de cualquier otro buscador, aunque contiene algunas particularidades que lo capacitan para obtener unos resultados en cuanto a su precisión bastante notables. Aunque Page, en una entrevista publicada en www.devarticles.com, indica que los detalles del lenguaje en que está desarrollado, las estructuras de datos y los procesos son información confidencial, existe información de la época en la que ambos se encontraban en Stanford, que aunque habrá cambiado con el paso de los años, da idea de la originalidad de la arquitectura de Google.

3.2 Integración de fuentes de información en Internet

En el apartado anterior hemos analizado cómo se construyen las aplicaciones que acceden a las páginas html y que a partir de los contenidos de las mismas permiten que los usuarios obtengan aquellos sitios en Internet relacionados con la consulta que realizan mediante un conjunto de palabras clave. En Internet existen multitud de sitios que no son únicamente páginas html, así, por ejemplo, el propio buscador tiene una pantalla de entrada que debe ser completada (escribiendo las palabras clave y pulsando un botón) antes de obtener una página html que contenga la información pedida. Cuando uno se plantea realizar aplicaciones que utilicen como dominio la Web debe considerar tanto la existencia de páginas html planas como la existencia de servidores cuya entrada es una pantalla de una aplicación. Mientras que para el primer caso, páginas html, un *crawler* es capaz de adquirir y un proceso posterior de filtrado de la información puede extraer la información necesaria, en el segundo caso, se necesita un software más complejo que permita extraer la información realizando la consulta pertinente antes de realizar la adquisición y el filtrado posterior de la información.

En Etzioni (1997) se explica la interrelación entre los distintos agentes a través de lo que Etzioni denomina *Information Food Chain*, haciendo un paralelismo con la vida animal. Así, al igual que existen herbívoros y carnívoros, él habla acerca de agentes que trabajan con la información en html (los herbívoros) y otros agentes, que él denomina *softbots*, que trabajan a partir de la información que suministran los agentes herbívoros. Para Etzioni un *softbot* es un agente que realiza las tareas que lleva a cabo un usuario (como ya se ha visto un buscador no funciona como un usuario, sino que trabaja indexando información para poder responder a las consultas). Evidentemente no existen únicamente dos niveles en la cadena de la información, ya que todo *softbot* puede hacer uso de otro *softbot*, de manera que, aunque no resulta muy exacta la equiparación de Etzioni entre agentes y la vida natural, herbívoros y carnívoros, aún así resulta ilustrativa.

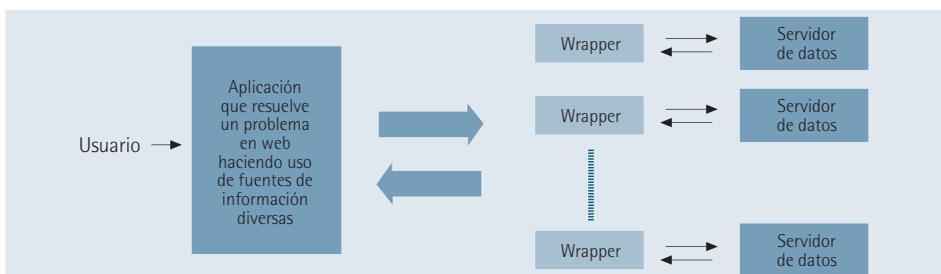
En resumen, se pueden distinguir dos tipos de agentes (Fah-Chun, 1996), aquellos que acceden a páginas sin necesidad de conocer su estructura (los *crawlers*) y aquellos agentes que son desarrollados de forma específica para acceder de una determinada manera a un determinado sitio

(los *wrappers*). A partir de los *wrappers* se puede realizar un agente que acceda a diferentes sitios, mediante varios *wrappers* que le recolecten la información, de tal forma que luego él la integre para dar un resultado final: es lo que se denomina actualmente *Information Gathering* (Knoblock, 1998). Existen multitud de agentes que realizan este tipo de tareas, uno de los primeros fue Rodney (Etzioni y Weld, 1994). La utilidad buscada para Rodney era la de servir como asistente personal de manera que fuera capaz de resolver problemas que le planteaba el usuario utilizando técnicas de Inteligencia Artificial (planificación) para analizar la consulta y proceder a acceder a diferentes sitios de Internet. Más conocido es el MetaCrawler (Seldberg y Etzioni, 1997), que es un metabuscador que integra información de diferentes buscadores para mejorar los resultados de la búsqueda (Seldberg, 1999). MetaCrawler es un ejemplo muy claro de cómo hacer uso de los *wrappers* para acceder a aplicaciones de Internet (en este caso los buscadores tradicionales), y de los problemas de integración de la información, ya que los resultados obtenidos pueden ser redundantes y además contradictorios (en este caso el ranking de cada buscador y la medida de la importancia en la que se basa dicho orden es diferente para cada buscador y debe ser integrado).

Existen aplicaciones más centradas en el comercio electrónico como por ejemplo el ShopBot (Doorenbos, 1997), que hace uso de MetaCrawler y de BargainFinder para extraer información de los productos. Una innovación de ShopBot es el intento de realizar *wrappers* que no sean totalmente desarrollados para una página de entrada determinada, incluyendo una cierta capacidad de aprendizaje o adaptación, de manera que el coste en desarrollo sea menor (Ashish y Knoblock, 1997). Una extensión de este *softbot* es NetBot Jango, que hace uso de todas las ideas expuestas en cuanto a análisis de la consulta de usuario y adaptación de los *wrappers* para actuar en representación del usuario en el proceso de búsqueda de productos.

Los *wrappers* son, por tanto, agentes que acceden a fuentes de información en Internet más complejas que una simple página html (Seldberg, 1999). Estos agentes suelen trabajar en conjunto con otros agentes, de manera que existe un protocolo común de comunicaciones. Este tipo de sistemas de *Information Gathering* resuelven el problema de la integración de diversas fuentes de información (Knoblock, 1998) haciendo uso de los *wrappers* como piezas de construcción software. Una arquitectura típica de un sistema de *Information Gathering* aparece en la *figura 2*, donde se observa que hay un programa principal que recibe las peticiones del usuario y que genera una solución para el problema planteado como un conjunto de accesos ordenados a distintos servidores de datos. El acceso a estos servidores se realiza mediante *wrappers*, que extraen la información del servidor y la envían al proceso central. El proceso central además de organizar el acceso de los *wrappers* debe finalmente fusionar toda la información para dar una respuesta coherente al usuario.

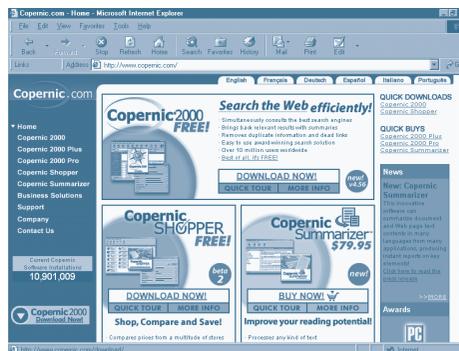
FIGURA 2. *Arquitectura de un sistema basado en wrappers.*



Un *wrapper* es un programa que recibe una *query* en un protocolo desarrollado para la aplicación de *Information Gathering*, que lleva a cabo dicha *query* sobre un servidor de datos, que recupera la información de la respuesta del servidor y que la envía en el protocolo adecuado al resto de la aplicación. Los procedimientos de acceso al servidor y de recuperación de la información son muy costosos, debido a que deben realizarse para ese servidor en concreto, y no son reutilizables. Incluso en muchas ocasiones el servidor cambia la apariencia, y el modo de acceso y el *wrapper* debe ser reprogramado. Se suponía que la aplicación del XML y de otros protocolos de uso universal con semántica iban a permitir el desarrollo de *wrappers* reutilizables y genéricos, pero hasta este momento no se ha dado tal coyuntura y deberemos esperar aún más tiempo para que el desarrollo de aplicaciones que extraigan toda la información de Internet sea más sencilla.

Un ejemplo de sistema integrador de información de Internet basado en agentes es Copernic (www.copernic.com), un metabuscador que realiza búsquedas en los principales buscadores. Se caracteriza por su sorprendente velocidad, el impresionante número de recursos que localiza y la posibilidad de parametrizar, sobre todo en las versiones de pago. Una vez que ha encontrado las direcciones de Internet, para visualizarlas ejecuta el navegador que tengamos instalado por defecto. Entre sus principales características destacan el que realice la consulta simultáneamente con los distintos motores de búsqueda; además, presenta resultados relevantes con resúmenes, elimina información duplicada y vínculos no disponibles. La versión actual, Copernic 2000 (figura 3), agrupa los buscadores dentro de 7 categorías: El Web (abarca 2 categorías, o sea, El Web, y otra categoría opcional relacionada con el idioma o con el país), grupos de noticias, direcciones de correo electrónico, compra de libros, compra de software y compra hardware. Por otro lado se ofrece un asistente para crear búsquedas, un historial detallado de las búsquedas, la actualización automática del software vía Internet, y muchas funciones avanzadas de administración de búsquedas.

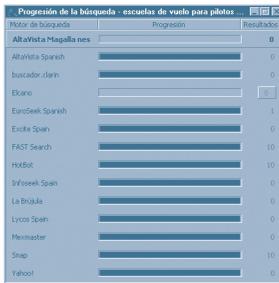
FIGURA 3. Página web del agente Copernic.



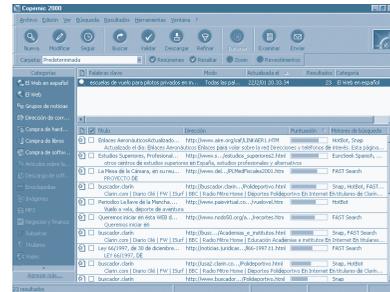
La instalación se realiza mediante una secuencia de pasos guiados que permiten parametrizar algunas opciones de la aplicación, como por ejemplo las categorías de búsqueda. Al ejecutar una consulta, el programa muestra una estadística dinámica del número de ocurrencias que va encontrando en cada buscador, como se muestra en la figura 4, además de una progresión de la búsqueda en cuanto al tiempo previsto de ejecución de la misma.

La presentación de los resultados es muy completa, incluyendo un indicador de coincidencia del enlace encontrado con el patrón de búsqueda, el motor de búsqueda utilizado, y las palabras del patrón de búsqueda que aparecen en el encabezado del documento, resaltadas. Una opción muy interesante es la posibilidad que ofrece la aplicación de efectuar un refinamiento sucesivo sobre las direcciones encontradas, lo que permite efectuar las consultas en varios pasos imponiendo patrones cada vez más restrictivos si, por ejemplo, el número de enlaces encontrado fuera muy elevado.

FIGURA 4. *Elementos de Copernic.*



Motores de búsqueda utilizados por Copernic



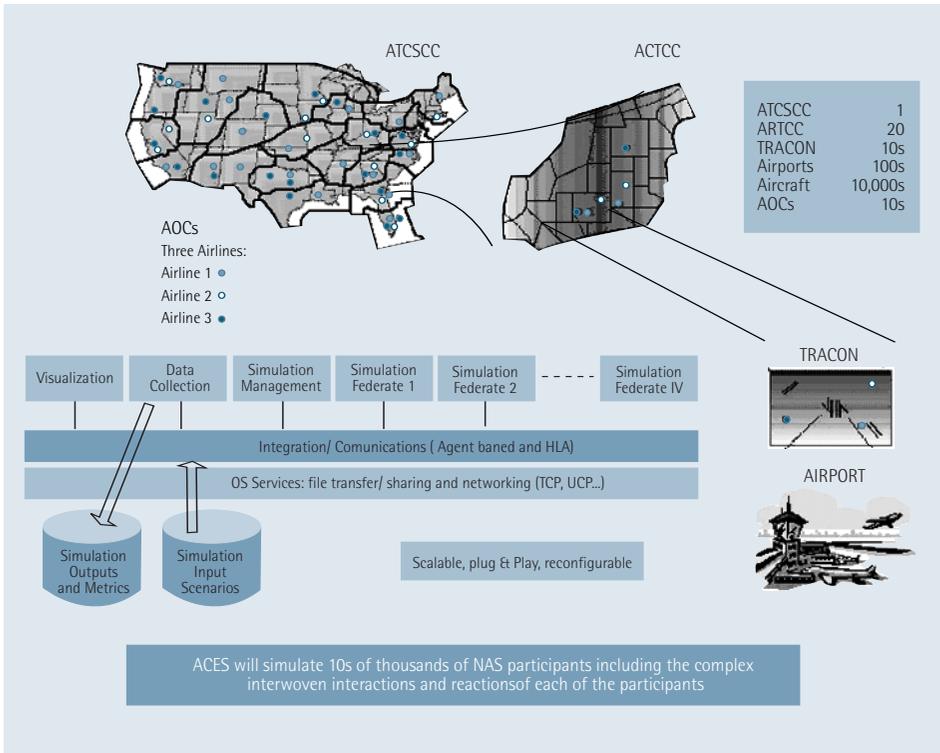
Ejemplo de la ejecución de una búsqueda

3.3 Agentes para la futura gestión distribuida de tráfico aéreo: proyecto ACES

La NASA desarrolla un proyecto de simulación y modelado del espacio aéreo con objeto de validar conceptos de vuelo libre, el proyecto ACES (*Airspace Concept Evaluation System*, www.seagull.com/AirTrans/PD_aces.html). Se pretende desarrollar un entorno que permita analizar nuevas herramientas, conceptos y arquitecturas, teniendo en cuenta todos los elementos en juego en el sistema de tráfico aéreo estadounidense, NAS (ver *figura 5*). El proyecto es liderado por Seagull Technology (como parte de Raytheon).

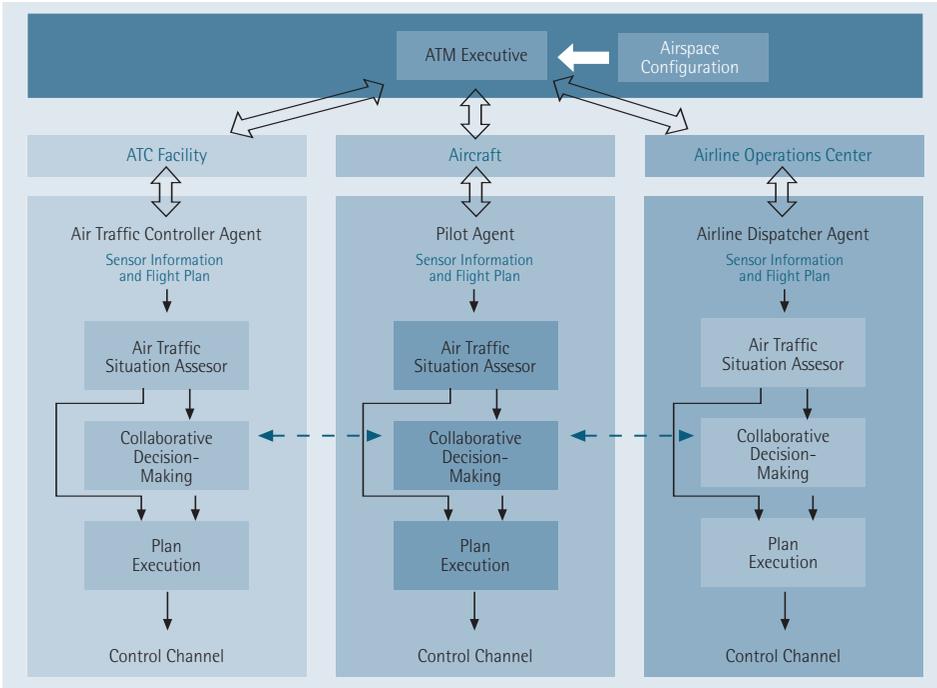
ACES utiliza una arquitectura basada en modelado de agentes y un entorno de simulación distribuido. Los modelos de ACES son de tres tipos: Agente, Infraestructura y Entorno. Los agentes se refieren a los participantes en el espacio aéreo (NAS): pilotos, gestión de tráfico aéreo (ATM), y control de operaciones (AOC). Representan las operaciones típicas en el espacio aéreo, incluyendo los operadores de aerolíneas, figuradas por AOC, los diferentes centros de control de tráfico aéreo (tráfico en ruta, ARTCC, tráfico en área terminal, TRACON, tráfico en aeropuerto ATCT, gestión de puertas de embarque), y las aeronaves. La Infraestructura modela los componentes que operan entre dos participantes, o entre un participante y el entorno, por ejemplo sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) o de predicción meteorológica. El Entorno cubre los modelos restantes, incluyendo el espacio aéreo, localizaciones de aeropuertos y mapas, y tiempo atmosférico. Los agentes NAS operan dentro del Entorno y se comunican a través de la Infraestructuras.

FIGURA 5. Proyecto ACES para simulación y gestión del NAS en EE.UU.



En operaciones realistas bajo un contexto de vuelo libre, se pretende determinar con qué frecuencia se necesitará una decisión que precise negociaciones complejas de resolución de conflictos. Para ello, se implementan agentes con comportamientos basados en principios de negociación: se genera un escenario de vuelo libre con patrones de tráfico aéreo realista y restricciones. Se ejecutan los modelos basados en agentes en este escenario, y se monitorizan las desviaciones de las trayectorias que aparecen debidas a las maniobras de resolución. Los conflictos se resuelven con algoritmos descentralizados de detección y resolución de conflictos, requiriendo negociación para una toma de decisión coordinada entre dos o más agentes. La arquitectura multiagente se muestra en la *figura 6*.

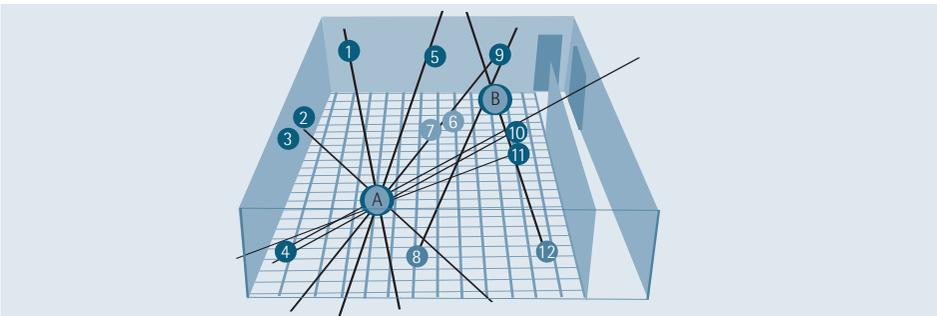
FIGURA 6. *Arquitectura multiagente ACES para resolución de conflictos de tráfico aéreo basada en negociación.*



3.4 Visión Artificial Distribuida Cooperativa

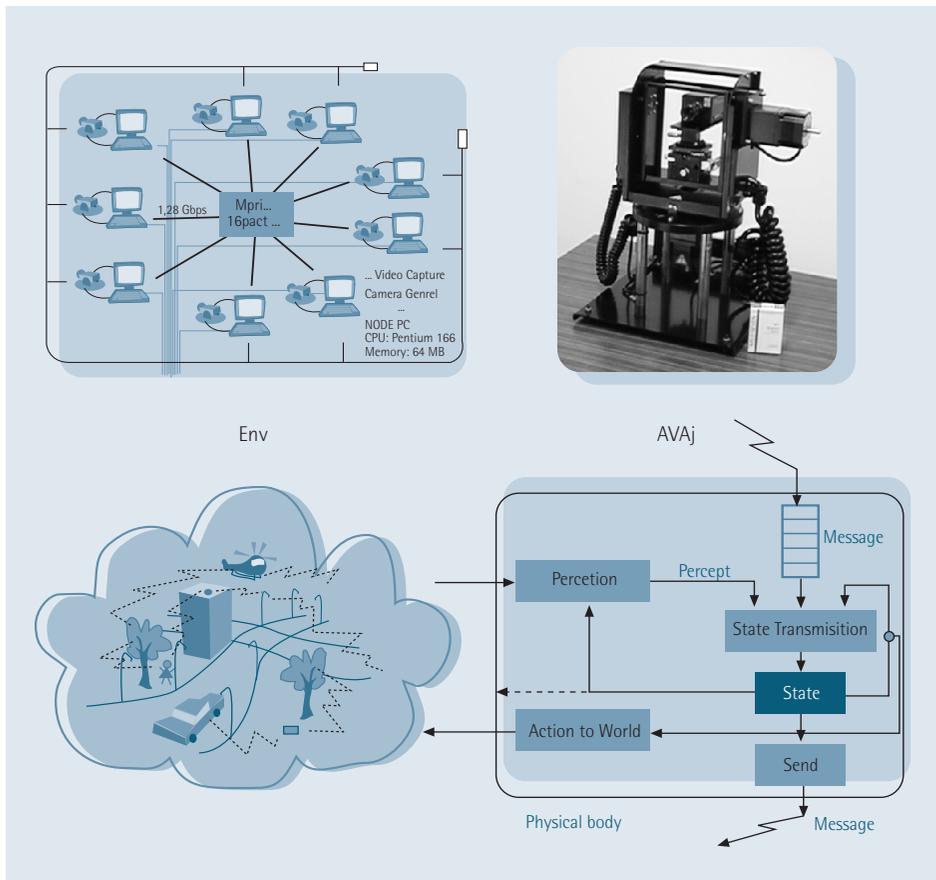
Éste es un proyecto (<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/CDVPRJ/CDVWS97/text.html>) desarrollado desde 1996 en la Universidad de Tokio, con la financiación del programa de investigación de la Sociedad Japonesa de Promoción de la Ciencia. El objetivo básico es la interconexión de estaciones de observación (procesadores en tiempo real de imágenes con cámaras activas) y robots móviles con visión, para llevar a cabo una comprensión robusta y flexible de la escena y asignación apropiada de recursos según las condiciones cambiantes del escenario. El principal interés del proyecto es la integración de percepción, acción y comunicación para formar sistemas inteligentes. Se propone un sistema de coordinación de cámaras activas para detección y seguimiento de intrusos, utilizando agentes inteligentes asociados a cada cámara.

FIGURA 7. *Sistema distribuido de vigilancia para detección de intrusos en recintos.*



Cada elemento del sistema es un agente inteligente de visión artificial, el agente cámara (AVA, *Active Vision Agent*), que está compuesto por dos módulos básicos que se distinguen por su finalidad: percepción y ejecución de acciones/comunicaciones. El módulo de percepción analiza los datos presentes en las imágenes captadas por la cámara, y el resultado de este análisis se lo comunica al módulo de ejecución para que éste concluya la acción que corresponda. Ambos modos funcionan de forma asíncrona, cada uno de ellos activado con sus propios intervalos de tiempo. En paralelo, con el procesamiento de bajo nivel que extrae la información procesada a partir de las imágenes, el agente podrá ejecutar un cierto número de ciclos básicos de razonamiento que son suficientes para concluir una acción final a tomar en consecuencia de la situación en la que se encuentra (ciclo de ejecución).

FIGURA 8. *Elementos del sistema de visión distribuida cooperativa, CDV.*



Los autores de este proyecto proponen una arquitectura reactiva estructurada en tres niveles de interacciones. La más básica permite el acceso de lectura/escritura en una memoria común que comparten todos los agentes y permite sincronizar los procesos de percepción, basados en el procesado dinámico de vídeo, y de acción, el movimiento de las cámaras en sus tres coordenadas (pan, tilt, zoom). Otro tipo de interacción es la que tiene

lugar entre agentes que siguen a un mismo objetivo, lo que los autores denominan "agencia", con objeto de establecer con precisión su identificación espacial y temporal y mantener organizados los agentes en grupos que se corresponden con los objetivos. Por último, se establecen comunicaciones y protocolos de alto nivel entre grupos de agentes o agencias que persiguen a diferentes objetivos para reasignar los objetivos a los agentes-cámara en función de los eventos que se den en la escena, puesto que dinámicamente los objetos se mueven de forma que puede el sistema reconfigurarse para asegurar una utilización óptima de los recursos.

3.5 Sistema de detección de minas RETSINA

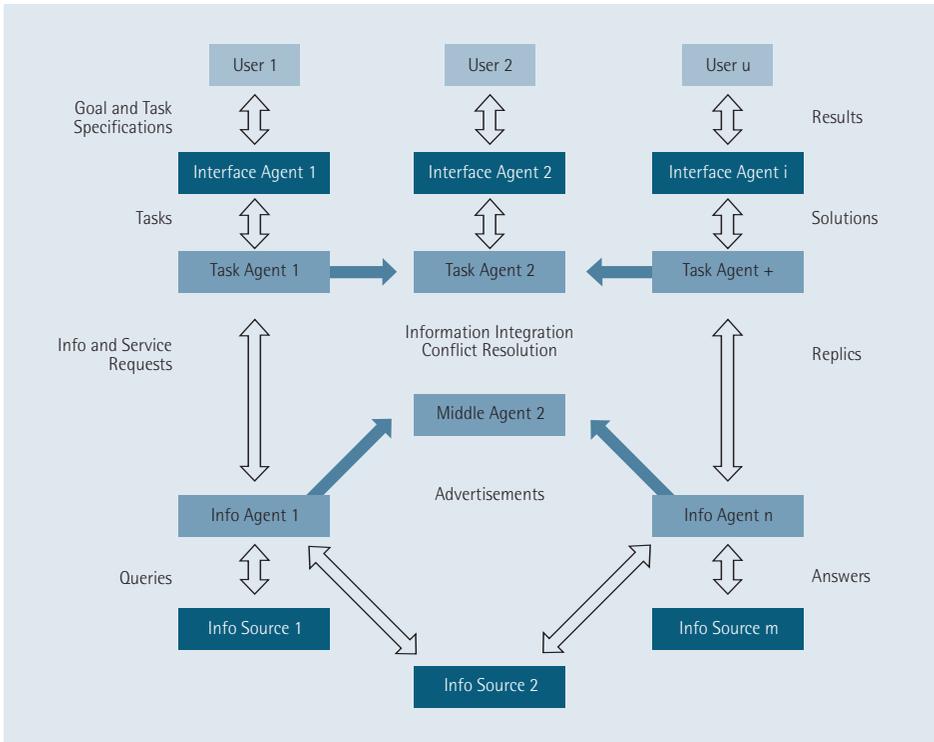
El proyecto RETSINA (*Reusable Environment for Task Structured Intelligent Network Agents*) es un sistema desarrollado por el grupo de Agentes Inteligentes de la Universidad de Carnegie Mellon (www-2.cs.cmu.edu/~softagents/).

FIGURA 9. Robot para detección de minas.



Consiste en un sistema de eliminación de minas robótico basado en una aplicación multiagente, *AgentStorm*. Los agentes de eliminación de minas interactúan para encontrar rutas, permitiendo la eliminación de campos de minas. *AgentStorm* es una arquitectura de sistema multiagente abierta que permite comunidades de agentes heterogéneos, con la premisa de que los agentes forman comunidades de elementos autónomos coordinados. Está formado por más de 25 tipos de componentes software. Dentro del dominio de eliminación de minas se exploran distintas cooperaciones multirobot y estrategias de comunicación, cada robot planifica su estrategia en base a suposiciones sobre lo que están realizando sus compañeros y sobre datos sensoriales. La planificación de rutas tiene en cuenta factores como las interacciones entre vehículos/terreno. Cada robot traduce sus entradas de sensores en un sistema de coordenadas basado en rejillas para crear un mapa del campo de minas: las celdas se marcan como inexploradas, seguras, minadas o desarmadas y cada robot mantiene su propia versión del mapa.

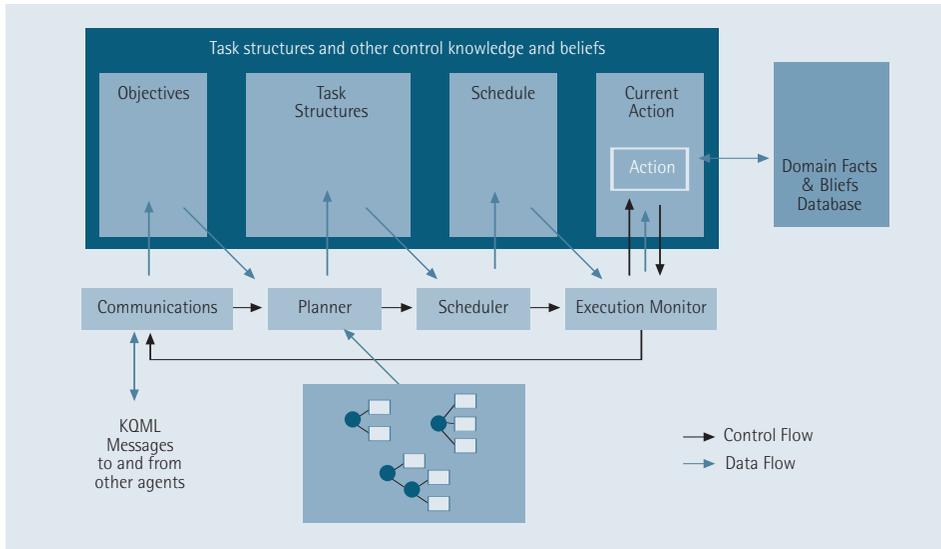
AgentStorm realmente es un sistema multiagente diseñado para manejar el movimiento de pelotones de tanques desde un nivel táctico en escenarios militares. Está compuesto de comandantes ("*commander*"), cada comandante interactúa con un agente de misión que planea el movimiento del pelotón basándose en información del informe y de los otros agentes. La ventaja de tener comandantes es la posibilidad de reforzar las rutas mutuamente y reservarse ante casos negativos como los campos de minas, en el caso de acontecimientos imprevistos.



La arquitectura funcional de RETSINA contiene cuatro tipos básicos de agentes:

- **Agentes Interfaz:** interactúan con los usuarios recibiendo sus entradas y mostrando las salidas.
- **Agentes Tarea:** ayudan a los usuarios a realizar tareas, formular planes de resolución y ejecución de estos planes coordinadamente con otros agentes.
- **Agentes Información:** proporcionan acceso inteligente a las diversas y heterogéneas fuentes de información.
- **Agentes Intermediario:** ayudan a los agentes que solicitan servicios a encontrar a los proveedores. Son un elemento clave en la interacción entre agentes de diferente naturaleza.

En cuanto a la arquitectura interna de cada agente RETSINA, tiene cuatro módulos reutilizables para comunicación, planificación, secuenciación y monitorización de la ejecución de tareas y solicitud a otros agentes (ver *figura 11*). El módulo **Comunicación y Coordinación** (*Communications*) acepta e interpreta mensajes de otros agentes. El módulo **Planificación** (*Planner*) toma los objetivos y genera planes para satisfacerlos. El módulo **Secuenciación** (*Scheduling*) toma la estructura de tareas anterior y las ordena. El módulo **Ejecución** (*Execution*) monitoriza el proceso y que se cumplen las tareas de acuerdo a las restricciones.

FIGURA 11. *Arquitectura de cada agente en RETSINA.*

En esta aplicación en particular, RETSINA, los robots de desactivación de minas tienen las siguientes capacidades específicas:

- **localización:** da al robot posición absoluta en coordenadas globales;
- **kin sensor:** detecta otros robots en la proximidad;
- **sensor de obstáculos;**
- **sensor de minas:** detecta minas en un área específica.

3.6 Robots de reconocimiento y vigilancia: proyecto Millibot

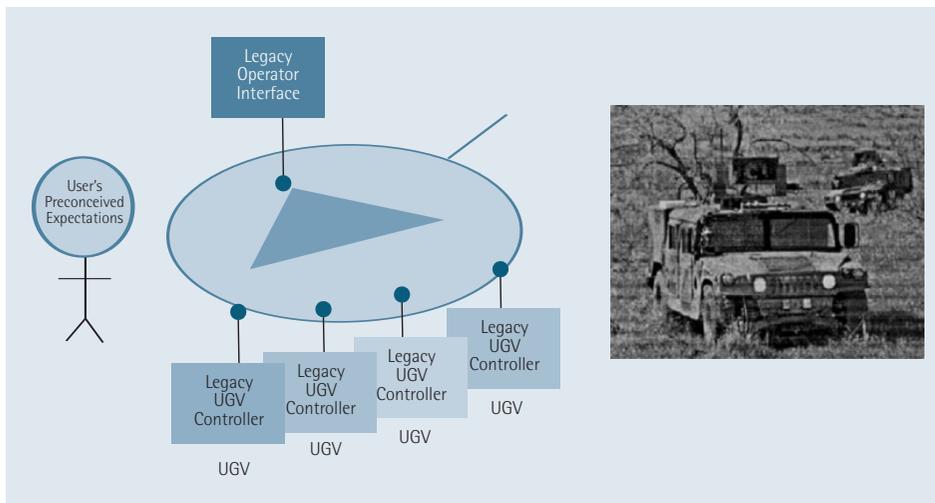
El proyecto Millibot se realiza en la Universidad Carnegie Mellon, financiado por DARPA (www.contrib.andrew.cmu.edu/~rjg/millibots/millibot_project.html). El objetivo es construir equipos distribuidos de robots de entre 5 y 10 cm, con cámaras, termómetros y sensores de movimiento. Una de las líneas principales, además del diseño y movilidad de los robots, es la utilización de arquitecturas de coordinación para mantener con precisión la localización de todo el equipo, de recolectar las entradas de todos los sensores para hacer mapas de reconocimiento, y la detección de objetos de interés. Algunos de los aspectos clave del proyecto son:

- **Diversidad:** especializar los robots en tareas específicas.
- **Modularidad:** autonomía en detección, procesado y movilidad de cada elemento.
- **Localización:** el equipo hace un seguimiento de su posición en todo momento, considerando la existencia de errores.
- **Arquitectura de coordinación:** movimientos y fusión de información de sensores.
- **Diagnóstico:** el equipo puede detectar fallos y buscar soluciones.

FIGURA 12. *Minirobots del Proyecto Millibot.*

3.7 Control de Vehículos no Tripulados

Otra aplicación de entornos virtuales y defensa es el desarrollo de vehículos no tripulados para misiones de alta peligrosidad. Por ejemplo, la Universidad de Michigan ha desarrollado el proyecto de vehículos de tierra sin tripulación (UGV, *Unmanned Ground Vehicles*) para operar en áreas contaminadas y entre líneas enemigas, permitiendo al usuario humano el reconocimiento, vigilancia y adquisición de objetivos (a distancia).

FIGURA 13. *Proyecto UGV, Unmanned Ground Vehicles, de la Universidad de Michigan.*

Los UGVs (*figura 13*) se tratan como agentes semiautónomos que son capaces de sentir el entorno y adoptar planes del repertorio que más se ajuste a alcanzar sus objetivos en unas circunstancias dadas. Por tanto, interactúan con usuarios humanos militares por una parte, y por otra con un vehículo robot, en un determinado grado de autonomía controlado por otro agente operador flexible que cambia sus actitudes en función de la situación. La solución propuesta es un sistema de ejecución y planificación de misiones integradas que está distribuido entre diversos agentes que expresan los objetivos, planes y creencias. Se evalúa dicha solución usando un vehículo robot real en el contexto de un marco limitado, y usando un sistema de simulación estándar para demostrar cómo los componentes del sistema trabajan juntos para la planificación y control de UGVs a partir de un único operador.

3.8 Simulador para juegos de guerra: EKSL

DARPA desarrolla el simulador EKSL (*Experimental Knowledge Systems Laboratory*, <http://eksl-www.cs.umass.edu/research/ctf/>), con objeto de analizar los requisitos de agentes autónomos operando en entornos complejos que representen condiciones del mundo real. En este simulador un jugador humano debe capturar el territorio enemigo compitiendo contra un adversario inteligente, teniendo en cuenta consideraciones físicas (colisiones, deformaciones del terreno, obstáculos) y psicológicas (miedo, moral, fatiga), etc. Es una simulación 3D en la que los jugadores disponen de batallones y soporte aéreo. La característica principal es que existen elementos con autonomía y capacidad de planificación, que interactúan con el jugador humano que plantea las estrategias. Proporciona una interfaz gráfica que permite al jugador evaluar la situación y analizar posibles alternativas.

Los tres elementos clave de este proyecto son el simulador (AFS), la arquitectura de control (HAC) y un planificador (GRASP). Además, el sistema tiene una interfaz gráfica para observar los acontecimientos y participar.

- El simulador AFS (*Abstract Force Simulator*) es un simulador de propósito general de agentes que utiliza campos de fuerzas para modelar sistemas dinámicos no lineales.
- La arquitectura de control HAC (*Hierarchical Agent Control*) permite diseñar la jerarquía de dependencias para llevar a cabo las acciones, y es muy adecuada para controlar un número elevado de agentes interactuando en un entorno dinámico.
- El planificador GRASP (*General Reasoning using Abstract Physics*) es una tecnología utilizada para representar actividades dinámicamente y ayudar a los agentes a tomar decisiones basadas en información para ganar el juego, en este caso las directivas para alcanzar las mejores posiciones.

FIGURA 14. *Simulador de situaciones de batalla EKSL.*



La clave del simulador está en el equilibrio entre el conocimiento público y privado de las unidades individuales. Por ejemplo, si un batallón debe atravesar un terreno con un lago (ver [figura 15](#)), la directiva de alto nivel es traducida en los comandos simples de bajo nivel que determinan los movimientos puntuales, evitan obstáculos e informan de los eventos microscópicos que aparecen.

FIGURA 15. Efectos de la morfología del terreno en el comportamiento de una unidad.



3.9 Entornos virtuales para educación de la salud: proyecto HEART-SENSE

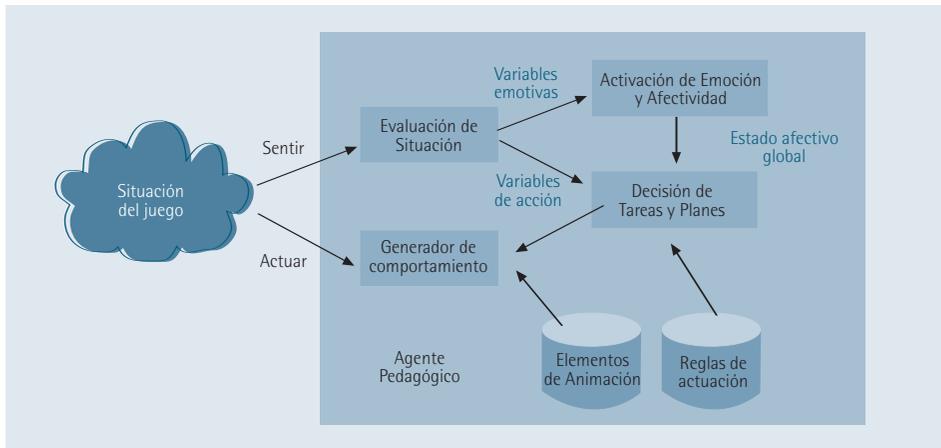
Este proyecto (<http://www.acasa.upenn.edu/heartsense/storyboard.htm>), desarrollado en la Universidad de Pensilvania, es un juego educativo destinado a mejorar el reconocimiento de síntomas de ataque al corazón y educar a la población de riesgo para reducir el retardo en hospitalización y por tanto la mortalidad. Es un sistema interactivo, que consta de un simulador para promocionar el cuidado de salud y de agentes pedagógicos (personas virtuales), que razonan interactivamente con los pacientes de riesgo acerca de cómo su estado emocional se relaciona con su salud, y estiman su reacción a un posible ataque. La clave del proyecto está en transmitir al usuario la ilusión de que está tratando con personas que perciben su situación y a su vez transmiten una cierta emotividad, como elemento clave para reforzar el aprendizaje. El juego consta de tres tipos de situaciones, a través de las cuales, el agente animado Bea (con forma de corazón) acompaña al usuario. El módulo "Captura" capta la atención del usuario en un escenario donde personas que ignoran los síntomas de ataque al corazón sufren un ataque y su hospitalización es tardía. En el segundo módulo, el usuario entra en una sala con un doctor para sesiones didácticas acerca de cómo reconocer un ataque al corazón y asuntos relacionados, utilizando animaciones y conversación con el usuario. Finalmente, el usuario entra en una aldea virtual donde interactúa con personas y pone en práctica sus nuevos hábitos, recomendando acciones inmediatas a personas que pueden estar sufriendo los síntomas de ataque al corazón. Aquí se pone en práctica un elemento clave del aprendizaje de hábitos: explicar a otros lo que se ha aprendido.

FIGURA 16. Situaciones simuladas en el juego Heart-Sense.



El aspecto fundamental de este juego es la inclusión de los agentes pedagógicos de tipo emotivo-cognitivo, con el objeto de transmitir un "afecto positivo" al usuario, que permite entretenerle y motivarle para mejorar los objetivos didácticos. Para ello se utilizan agentes inteligentes que deciden el mejor modo de ayudar al usuario dentro del contexto de plan pedagógico final, y de la situación particular. La arquitectura básica de los agentes animados es la que se indica en la figura siguiente

FIGURA 17. *Arquitectura de los agentes animados en Heart-Sense.*



Los elementos básicos de la arquitectura de los agentes son:

- **Conducta emotiva:** se tienen cuenta las guía básicas para crear personajes animados, sujetos a las variables emotivas resultantes de la evaluación de la situación. No hay una guía clara para activar los diferentes niveles de emociones, sino que tienden a reaccionar a los estímulos, razonando acerca de señales emotivas, dependiendo de la circunstancia para modular la reacción.
- **Decisión de tareas y planes:** el proceso cognitivo del agente determina qué acciones tomar dado un evento o la acción de otro agente. Como el agente Bea quiere ayudar al usuario a seguir con éxito el juego, debe buscar las respuestas apropiadas a cada situación, con un sistema basado en reglas.
- **Generador de comportamiento:** el generador de comportamiento toma el plan generado, busca las animaciones apropiadas y lo sincroniza con el simulador.

4. A modo de conclusión

El desarrollo práctico de los agentes se ha visto potenciado por el enorme crecimiento de Internet. Dentro de este ámbito aplicado existe una gran influencia de la teoría de interfaces de usuario y de la interacción hombre-máquina. Cabe destacar aquellos aspectos relacionados con

el acceso inteligente a las fuentes de información en web y la necesidad de programas (agentes) en los que el usuario sea capaz de delegar el trabajo y la toma de decisiones. Por otro lado, los sistemas distribuidos formados por multitud de nodos autónomos coordinados para un comportamiento coherente constituyen un nuevo modelo de desarrollo en ingeniería. Con este paradigma se están generando aplicaciones industriales como sistemas de producción y control de procesos, gestión de negocios, Control de Tráfico Aéreo, vigilancia distribuida, o simuladores y entornos virtuales.

5. Referencias

- ARPA (1992): *Specification of the KQML agent-communication language*. ARPA Knowledge Sharing Initiative, External Interfaces Working Group.
- Ashish, N.; Knoblock, C.A. (1997): Semi-automatic Wrapper Generation for Internet Information Sources. *Second IFCIS Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS)*, Charleston, South Carolina.
- Atkin, M.; Westbrook, D.; Cohen, P.; Jorstad G. (1998): AFS and HAC: Domain-General Agent Simulation and Control. *AAAI Workshop on Software Tools for Developing Agents*.
- Bonasso, P.R.; Kortenkamp, D.; Miller, D. (1995): Experiences with An Architecture for Intelligent, Reactive Agents. *INTELLIGENT AGENTS II: Agent Theories, Architectures and Languages*, pp 187-203, Wooldridge, Michael J, Mueller, P and Tambe, Milind, (Eds), Springer Verlag, Berlin 1995.
- Bond, A.H.; Gasser, L. (1988): *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Morgan Kaufman.
- Bradshaw, J. (1996): *Software Agents*. AAAI Press/The MIT Press.
- Brin, S.; Page, L. (1998): The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine. *Proceedings of the 7th World Wide Web Conference Brisbane, Australia*.
- Brooks, R. A. (1990): Elephants Don't Play Chess. *DESIGNING AUTONOMOUS AGENTS: Theory and Practice From Biology to Engineering and Back*, pp 3-17, Maes, Pattie, (Ed), Cambridge, MA, The MIT Press, 1990.
- Brooks, R. A. (1991): Intelligence without Representation. *Artificial Intelligence*, 47, 139-159.
- Bussman, S.; Müller, H.J. (1993): A communication architecture for cooperating agents. *Compt. Artif. Intell.* 12(1), 37-54.
- Caglayan, A.; Harrison, C. (1997): *Agent sourcebook*. John Wiley & Sons, New York.
- Camacho, D.; Borrajo, D.; Molina, J.M. (2001): Intelligent Travel Planning: A Multiagent Planning System to Solve Web Problems in the e-Tourism Domain, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 4 (4), pp 387-392.

- Camargo, S. P. (1996): An Approach Based on Fuzzy Associative Memory for Learning Interface Agents, PAAM 96, *First International Conference and Exhibition on the Practical Application of Internet Agents and Multi-Agent Technology*, London 22-24 April 1996, pp 895-909, Practical Application Company Ltd.
- Chavez, A., Maes, P. (1996): Kasbah: An Agent Marketplace for Buying and Selling Goods, PAAM 96, *First International Conference and Exhibition on the Practical Application of Internet Agents and Multi-Agent Technology*, London 22-24 April 1996, pp 75-91, Practical Application Company Ltd.
- Chu-Carroll, C.; Carberry, S. (1995): Conflict Detection and Resolution in Collaborative Planning. *INTELLIGENT AGENTS II: Agent Theories, Architectures and Languages*, pp 111-127, Wooldridge, Michael J, Mueller, P and Tambe, Milind, (Eds), Springer Verlag, Berlin.
- Conry, S.; Meyer, R.A.; Lesser, V. (1988): Multistage Negotiation in Distributed Artificial Intelligence. *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, Editores Bond y Gasser, Morgan Kaufman.
- Conte, R.; Miceli, M.; Castelfranchi, C. (1991): *Limits and Levels of Cooperation: Disentangling Various Types of Prosocial Interaction*, Distributed AI 2. Editores Demazeau Y., Muller J.P., North Holland.
- Corchado, J.M.; Molina, J.M. (2002): *Introducción a la Teoría de Agentes y Sistemas Multiagente*. Publicaciones Científicas, Editorial Catedral Publicaciones. Salamanca, 2002, España.
- Davis, R.; Smith, R.G. (1983): Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving. *Artificial Intelligence* vol 20, nº 1, pp 63-109.
- Decker, K.S. (1987): Distributed Problem-Solving Techniques: A Survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Sep/Oct.
- Demazeau, Y.; Muller, J.P. (1991): *Decentralized AI 2*, Elsevier North Holland.
- Doorenbos, R.; Etzioni, O.; Weld, D. (1997): A Scalable Comparison-Shopping Agent for the World Wide Web. *Proceedings of Autonomous Agents*. pp. 39-48, ACM.
- Durfee, E.H. (1988): *Coordination of Distributed Problem Solvers*. Boston, Kluwer Academic.
- Durfee, E.H.; Lesser, V.R.; Corkill, D.D. (1987): Coherent Cooperation Among Communicating Problem Solvers. *IEEE Transactions on Computers*, C (36) pp 1275-1291.
- Durfee, E.H.; Lesser, V.R.; Corkill, D.D. (1989): Cooperative Distributed Problem Solving, Cap. XVII. *The Handbook of AI (Vol IV)*, ed. Barr A., Cohen P.R., Feigenbaum E.A., Addison-Wesley.
- Durfee, E.H. (1999): Distributed Continual Planning for Unmanned Ground Vehicle Teams. *AI Magazine*, Winter.

- Durfee, E. H. (1991): The Distributed Artificial Intelligence Melting Pot. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol 21, nº 6, Noviembre/Diciembre.
- Estraillier, P.; Girault, C. (1992): Applying Petri Net Theory to the Modelling Analysis and Prototyping of Distributed Systems. *Proceeding of the IEEE International Workshop on Emerging Technologies and Factory Automation*. Cairns, Australia.
- Etzioni, O. (1997): Moving Up the Information Food Chain. Deploying Softbots on the World Wide Web. *AI Magazine*, vol 18, nº 2, Summer.
- Etzioni, O.; Weld, D. (1994): A Softbot-Based Interface to the Internet. *Communications of the ACM*. Vol. 37, No. 7, pp. 72-79.
- Fah-Chun, C. (1996): *Internet agents, spiders, wanderers, brokers and bots*. New Riders, Indianapolis.
- Ferber, J. (1999): *Multi-Agent Systems. An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley.
- Ferguson, I.A. (1992): Touring Machines: An Architecture for Dynamic, Rational, Mobile Agents. *PhD thesis*, Clare Hall, University of Cambridge, UK.
- Foner, L.N. (1993): What's an agent, anyway? A sociological case study. *Agents Memo 93-01*, Agents Group, MIT Media Lab.
- Franklin, S.; Graesser, A. (1996): Is it an Agent, or just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents. *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*. Springer-Verlag.
- Gasser, L. (1992): An Overview of DAI, en *Distributed Artificial Intelligence: Theory and Praxis*. Editado por N.M. Avouris y L. Gasser, Kluwer.
- Gasser, L.; Braganza, C.; Herman, N. (1987): MACE: a Flexible Testbed for Distributed AI Research. *Distributed Artificial Intelligence*. Editado por M.N. Huns, pp 119-152, Pitman.
- Gasser, L.; Hill, R.W. (1990): Coordinated Problem Solvers. *Annual Reviews of Computer Science*. 4, pp 203-253.
- Genesereth, M.R.; Ketchpel, S.P. (1994): Software agents. *Communications of the ACM*, 37(7): 48-53, 147, 1994.
- Genesereth, M.R.; Singh, N.P.; Syed, M.A. (1994): A distributed and anonymous knowledge sharing approach to software interoperation. *Informe técnico*. Departamento de Ciencias Computacionales. Universidad de Standford. Menlo Park, California.
- Georgeff, M.P. (1983): Communication and Interaction in Multi-Agent Planning. *Proc. of AAAI-83*, pp 125-129.

- Georgeff, M.; Lansky, A.L. (1987): Reactive reasoning and planning. *Proceedings of the Sixth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-87)*. Seattle, WA.
- Georgeff, M.; Pollack, M.; Tambe, M. (1999): The Belief-Desire-Intention Model of Agency. *Proceedings of the Fifth International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages (ATAL-98)*, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Georgeff, M.; Rao, A. (1998): Rational Software Agents: From Theory to Practice. En *Agent Technology: Foundations, applications and markets*. Editores Jennings & Wooldridge. Pag. 139-160. Springer.
- Gilbert, A. (1995): *The Role of Intelligent Agents in the Information Infrastructure*. IBM, United States.
- Grand, S.; Cliff, D. (1998): Creatures: Entertainment software agents with artificial life. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1(2).
- Gray, R.S.; Cybenko, G.; Kotz, D.; Rus, D. (1997): Agent Tcl. En *Itinerant Agents: Explanations and Examples*. Manning Publishing, 1997.
- Griffeth, N. D.; Velthuisen, H. (1994): The negotiation agents approach to run-time feature interaction resolution. *Feature Interactions in Telecommunications Systems*. IOS Press.
- Haddadi, A.; Sundermeyer, K. (1996): Belief-Desire-Intention Agent Architectures, *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, pp 169-185. O'Hare; Jennings (Eds). Wiley-Interscience Publication.
- Harper, K.; Guarino, S.; White, A.; Hanson, M.; Bilimoria, K.; Mulfinger, D. (2002): An Agent-Based Approach to Aircraft Conflict Resolution with Constraints. *Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference*, Monterey, CA.
- Hoare, C.A.R. (1985): *Communicating sequential processes*. Prentice Hall International.
- Jain, L.C.; Chen, Z.; Ichalkaranje, N. (2002): *Intelligent agents and their applications Serie Studies in fuzziness and soft computing*. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Jennings, N. R. (1993): Specification and implementation of a belief-desire-joint-intention architecture for collaborative problem solving. *Int. J. Intell. Coop. Inf. Syst.*, 289-318.
- Jennings, N.R.; Faratin, P.; Johnson, M. (1996): Using ARCHON to develop real-world DAI applications for electricity transportation management and particle acceleration control. *IEEE Expert*, 11(6).
- Jennings, N.R.; Faratin, P.; Norman, T.J.; O'Brien, P.; Odgers, B.; Alty, J.L. (2000): Implementing a Business Process Management System using ADEPT: A Real-World Case Study. *Int. Journal of Applied Artificial Intelligence* 14 (5) 421-463.

- Jennings, N.R.; Sycara, K.; Wooldridge, M. (1998): A Roadmap of Agent Research and Development. *Autonomous Agents and Multiagent Systems*, vol 1, nº 1 pp 275-306.
- Sycara, K.; Giampapa, J.A.; Langley, B.K.; Paolucci, M. (2003): The RETSINA MAS, a Case Study. *Software Engineering for Large-Scale Multi-Agent Systems: Research Issues and Practical Applications*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Vol. LNCS 2603.
- Keith, D.; Pannu, A.; Sycara, K.; Williamson, M. (1997): Designing Behaviors for Information Agents, AUTONOMOUS AGENTS '97. *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*, pp 404-413, Marina del Rey CA, Feb 5-8. ACM Press.
- Knoblock, C.A.; Minton, S.; Ambite, J.L.; Ashish, N. (1998): Modelling Web Sources for Information Integration. *Proceedings of the Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence*, Madison, WI.
- Larsson, E.; Hayes-Roth, B.; Gaba, D. (1996): Guardian: Final Evaluation. *TechReport KSL-96-25*. Knowledge Systems Lab, Stanford University.
- Lawrence, S.; Giles, C.L. (1998): Searching the World Wide Web. *Science*, vol 208, pp 98-100.
- Lesser, V. R. (1991): A Retrospective View of FA/C Distributed Problem Solving. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 21 (6) 1347-1363.
- Ljunberg, A.L. (1992): The OASIS air traffic management system. *Proc. Of the 2nd Pacific Rim International Conf on AI. Seoul*.
- Lucas A.; Goss, S. (1999): The Potential for Intelligent Software Agents in Defence Simulation. *Proc of Information Decision and Control 99*. 579-583
- Maes, P. (1989): Situated Agents Can Have Goals. *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice From Biology to Engineering and Back*. PP 49-71.
- Maes, P. (1994): Agents that reduce work and information overload. *Communications of the ACM*, 37(3):31-40.
- Malone, T.W. (1988): What is coordination theory? *National Science Foundation Coordination Theory Workshop*, MIT.
- Mataric, M.J. (1992): Designing Emergent Behaviors: from local Interaction to Collective Intelligence. From Animals to Animats 2. *Proc. of the Second International Conference Simulation of Adaptive Behavior*. Hawaii. Editores J-A Meyer, H.L. Roitblat y S.W. Wilson pp. 432-441, MIT Press.
- Mataric, M.J. (1994): Learning to Behave Socially, From Animals to Animat 3. *Proc. Of the third International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, Brighton, Cliff, Husband, Meyer y Wilson Ed., pp 453-462, MIT Press.

- Molina, J.M.; García, J.; Jiménez, F.J.; Casar, J.R. (2004): Fuzzy Reasoning in a MultiAgent System of Surveillance Sensors to Manage Cooperatively the Sensor-to-Task Assignment Problem. *Applied Artificial Intelligence*. pg 673-711.
- Müller, J.P. (1997): *The Design of Intelligence Agents* (LNAI 1037). Springer-Verlag: Berlin, Germany.
- Omicini, A.; Zambonelli, F.; Klusch, M.; Tolksdorf, R. (2001): *Coordination of Internet agents: models, technologies, and applications*. Springer, Berlin.
- Panurak, H. (1987): *Manufacturing experience with the contract net. Distributed Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann. San Mateo, CA.
- Rao, A. S.; Georgeff, M. P. (1995): BDI Agents from Theory to Practice. *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agents Systems*. (ICMAS-95). San Francisco.
- Reynolds, C. (1987): Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*. 21 (4) pp. 25-34.
- Rodríguez, J. (1997): A Java-based electronic marketplace. *Proc. Of the 2nd International Conf. on Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology* (PAAM-97). Londres.
- Russell, S.; Norvig, P. (1995): *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ.
- Schild, K. (1999): On the relation between standard BDI logics and standard logics of concurrence. *Proceedings of the Fifth International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages* (ATAL-98), Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Selberg, E.W. (1999): Towards Comprehensive Web Search. *PhD Thesis*, University of Washington.
- Selberg, E.W.; Etzioni, O. (1997): The MetaCrawler Architecture for Resource Aggregation on the Web. *IEEE Expert* 12(1).
- Shoham, Y. (1993): Agent Oriented Programming. *Artificial Intelligence*, vol 60, nº1, pp 51-92.
- Sommaruga, L.; Avouris, A.; Van Liedekerke, M. (1989): An environment for experimenting with interactive cooperating knowledge based systems. *Research and Development in Expert Systems*, vol VI, editado por Nigel Shadbolt, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Steels, L. (1994): A Case Study in the Behavior-Oriented Design of Autonomous Agents. *Proc. Of the '94 Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, MIT Press.
- Sycara, K. (1989): Multiagent Compromise via Negotiation. *Distributed Artificial Intelligence*, Editores Gasser y Huns, Pitman.

- Sycara, K. (1998): Multiagent Systems. *AI Magazine*, 19(2) pp. 79-92.
- Sycara, K.; Decker, K.; Pannu, A.; Williamson, M.; Zeng, D. (1996): Distributed Intelligent Agents. *IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications*. Vol. 11, No. 6, Dec., 1996, pp. 36-46.
- Matsuyama, T.; Ukita, N. (2002): Real-Time Multi-Target Tracking by a Cooperative Distributed Vision System. *Proceedings of the IEEE*, Vol.90, No. 7, pp.1136-1150.
- Perry, T.S. (1997): In Search of the Future of Air Traffic Control. *IEEE Spectrum*, 34(8):18-34.
- White, J.E. (1994): Telescript technology: The foundation for the electronic marketplace. *White paper*, General Magic, Inc.
- Winograd, T.; Flores, F. (1986): *Understanding Computers and Cognition: A new Foundation for Design*. Ablex Publishing Corp.
- Wooldridge, M.; Jennings, N. R. (1995): Intelligent Agents: Theory and Practice. *The Knowledge Engineering Review*, vol. 10(2) pp. 115-152.
- Wooldridge, M.; Jennings, N.R. (1994): Agent Theories, Architectures and Languages: A Survey, Intelligent Agents. *ECAI-94 Workshop Proceedings on Agent Theories, Architectures and Languages*, Amsterdam, Aug, 1994. Pp 1-22, Wooldridge Michael J, and Jennings, Nicholas, (Eds), Springer Verlag, Berlin.
- Wooldridge, M (2002): *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.
- Zeghal, K. (1998): A Review of Different Approaches Based on Force Fields for Airborne Conflict Resolution. *AIAA Guidance, Navigation and Control Conference*. Boston.

Capítulo 5

Internet de Nueva Generación

Juan Quemada Vives
ETS Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
quemada@dit.upm.es

1. Las Redes de Datos (154)
 - 1.1. Conmutación de circuitos y de paquetes (155)

2. La Primera Internet (157)
 - 2.1. SOC e IETF: Las reglas que sirvieron para crear Internet (161)

3. Los Noventa: Internet entra en la Encrucijada (163)
 - 3.1. La escasez de direcciones IP (163)
 - 3.2. El mundo de las aplicaciones: el Web (164)
 - 3.3. El control de la seguridad: Los cortafuegos compartimentan la red (166)
 - 3.4. Los modelos de negocio de Internet (167)

4. El nuevo Milenio: Hacia una Internet de Nueva Generación (167)
 - 4.1. Los nuevos terminales y el acceso a Internet (169)
 - 4.2. El nuevo Web (170)
 - 4.3. Un nuevo marco de seguridad (173)
 - 4.4. La evolución de la arquitectura TCP/IP: la transición de IPv4 a IPv6 (175)

5. Conclusiones (176)

6. Referencias (178)

1. Las Redes de Datos

Internet [1, 7] es una red de transporte de datos diseñada durante los años 70 y 80 en el mundo investigador, que penetra durante los 90 en casi todos los ámbitos de la sociedad y la economía, hasta convertirse en lo que probablemente es la principal troncal de la sociedad de la información y el conocimiento. Esta enorme expansión se realizó al margen de los procedimientos y organismos que habían canalizado la producción de tecnología hasta entonces, revolucionando las pautas y procedimientos existentes hasta entonces en el mundo de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Este capítulo presenta una historia de Internet en la que se trata de ilustrar los factores técnicos, metodológicos o sociales que han contribuido (y van a seguir contribuyendo) a esta enorme expansión de la red. Empieza con una breve introducción a las redes de datos y a los conceptos en que se basan, para analizar a continuación la evolución de Internet desde sus comienzos hasta hoy, tratando de extrapolar, de la evolución sufrida en el pasado, las pautas de la futura evolución de Internet. Siempre se intenta simplificar las descripciones lo suficiente como para hacerlas comprensibles sin necesidad de conocimientos técnicos especializados, aunque tratando de no perder rigor.

Las redes de datos, denominadas también de conmutación de paquetes, pueden considerarse desde el punto de vista técnico como una evolución de las redes telegráficas. En un primer momento, los protocolos telegráficos pasaron a utilizarse para la transmisión de bloques de información digital. Primero se utilizaron para enviar bloques de texto desde teletipos y otros terminales hasta los grandes ordenadores de las primeras generaciones. En un segundo paso los protocolos se utilizaron para comunicar ordenadores entre sí, tal y como ocurre actualmente en Internet.

En el mundo de las comunicaciones se denomina protocolo al algoritmo que guía y ordena la comunicación entre dispositivos remotos. El nombre de protocolo se debe a que poseen una función similar a la de los protocolos sociales, es decir, ordenar las interacciones entre partes. Un protocolo ordena en la sociedad la interacción entre personas y en las redes de datos ordena la interacción entre ordenadores.

Cuando se diseña una red de datos, el primer paso consiste en definir los protocolos que deben seguir los ordenadores para comunicarse entre sí, denominándose "arquitectura de la red" al conjunto de protocolos que utiliza.

La comunicación de datos utilizaba inicialmente las redes existentes, fundamentalmente la red telefónica, hasta que durante los 60 se propone una nueva técnica denominada "Conmutación de Paquetes" [5] [7], que es la tecnología utilizada por las redes de datos actuales y en particular, por Internet. La aparición de la conmutación de paquetes inicia un proceso que ha cambiado profundamente el mundo de las telecomunicaciones y que es posible que lleve algún día a unificar las distintas redes de transporte de información actuales en una gran red multimedia, que unifique el transporte de datos, voz e incluso radio y televisión.

A finales de los 60 y durante los 70, aparecen diferentes propuestas de arquitecturas de redes basadas en conmutación de paquetes. Por ejemplo, ARPANET (en cuyo ámbito surge después

Internet), X.25 (normalizada por el CCITT), USENET (red de interconexión de sistemas UNIX), SNA (arquitectura de red de IBM), DECNET (la arquitectura de red de *Digital Equipment Corp.*), etc.

Durante los 80 y principios de los 90, la industria realiza un enorme esfuerzo para definir un modelo de referencia que unifique la arquitectura de las redes de datos. Este modelo se denominó modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) y se trató de definir en el marco de la Organización ISO (*International Organization for Standardization*). Casi nadie dudaba entonces sobre el éxito de dicha norma que, de haber triunfado, hubiese ocupado el puesto de la Internet actual. Tanto es así, que la mayoría de las organizaciones y empresas, incluido el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD), que había financiado el desarrollo de Internet, realizaron planes de implantación del modelo ISO-OSI a finales de la década de los 80. Durante ese período, Internet, que ya estaba operativa, se va introduciendo en el mundo universitario e investigador.

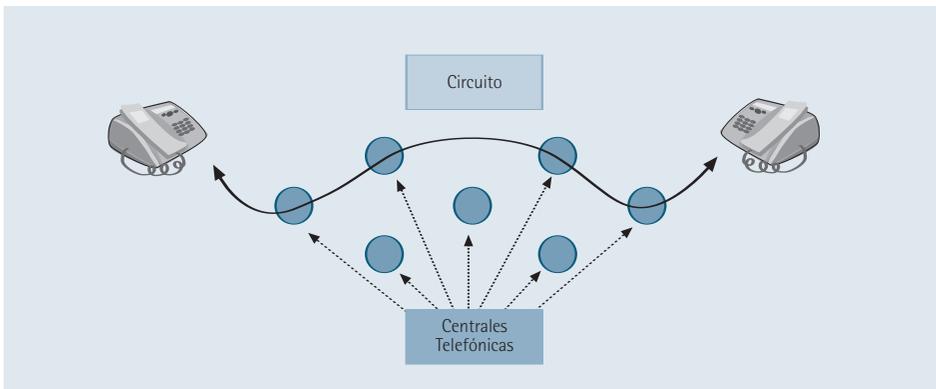
A principios de los 90 la definición del modelo ISO-OSI estaba incompleta. En cambio, Internet crece vertiginosamente, por lo que las empresas y organizaciones más innovadoras empiezan a conectarse a Internet.

A finales de los años 80, en algunos países, fundamentalmente europeos, existen ya servicios comerciales de redes de datos basados en la norma X.25, que se utilizaban fundamentalmente en el ámbito corporativo y financiero. Sin embargo, el éxito de Internet lleva a la creación de servicios comerciales basados en los protocolos de Internet, conocidos como ISPs (*Internet Service Providers*). A partir de entonces Internet empieza a introducirse a un ritmo imparable, en empresas, en hogares y en muchos otros ámbitos de la sociedad y la economía.

1.1 Conmutación de circuitos y de paquetes

Antes de la conmutación de paquetes, la mayoría de las redes se basaban en la "Conmutación de Circuitos", lo que implicaba que el intercambio de información únicamente se podía realizar una vez establecido el circuito.

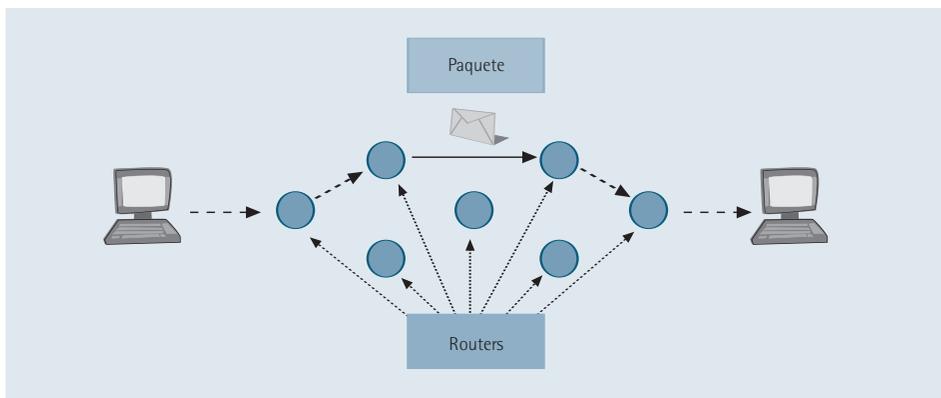
FIGURA 1. *Conmutación de Circuitos.*



El funcionamiento del teléfono ilustra muy bien cómo funciona la conmutación de circuitos. Únicamente se puede intercambiar información, es decir, hablar con nuestro interlocutor, cuando el circuito está establecido y nuestro interlocutor está en el otro extremo.

En cambio, la conmutación de paquetes funciona de un modo similar al correo postal. En este tipo de comunicación, la información puede enviarse en cualquier momento, sin necesidad de esperar a que el destinatario esté preparado para recibirla, tal y como se hace con el correo postal. Para enviar un bloque de información digital simplemente hay que introducirlo en un "paquete" y enviarlo.

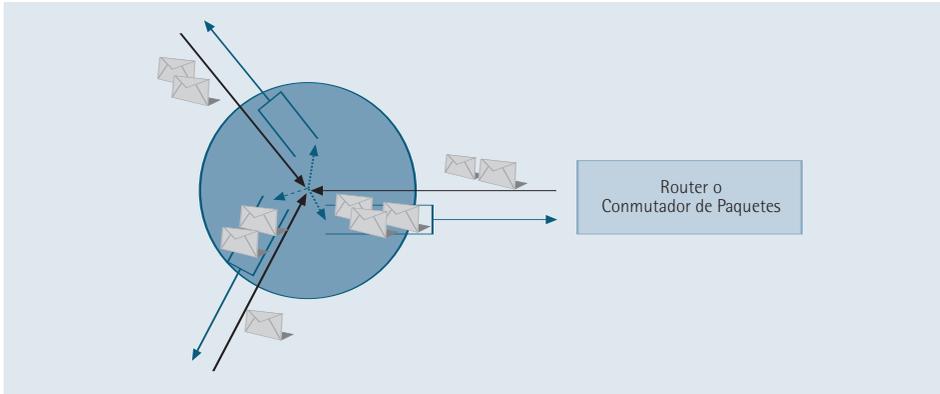
FIGURA 2. *Conmutación de Paquetes.*



Un paquete es similar a una carta: lleva una cabecera con información sobre el destinatario y el remitente. El paquete envuelve y delimita el bloque de información, como si fuese el sobre en un envío postal. Los paquetes se suelen denominar también "datagramas", probablemente porque sus diseñadores lo consideraron una variante del telegrama, debido a la velocidad con que se transmiten los paquetes de datos.

Una vez formado el paquete es necesario enviarlo a una estafeta de correos digital que, en el caso de Internet, es el "*router*" o "encaminador de paquetes". El *router* tiene como función clasificar los paquetes recibidos y enviar cada uno a la siguiente estafeta digital del camino hacia su destino, exactamente igual que en el servicio postal. Por lo tanto, para enviar un mensaje de un ordenador a otro, simplemente se encapsula en uno o varios paquetes, que se envían al *router* más próximo para que éste lo reenvíe hacia su destino.

Por tanto, la función básica de un *router* es almacenar y reenviar paquetes. Los paquetes llegan por las conexiones entrantes, para ser almacenados en la lista de espera de la conexión de salida por la que deben continuar. El paquete abandona el *router* cuando le llega su turno de reenvío, después de que los paquetes anteriores que deben seguir su misma ruta, hayan sido enviados. Por eso, la "conmutación de paquetes" recibe también el nombre de "almacenamiento y envío".



El modelo de conmutación de paquetes descrito es el utilizado por el protocolo de Internet IP (*Internet Protocol*), y corresponde a un servicio de conmutación de paquetes "tipo datagrama" (no necesita conexión). Pero existe también otro servicio de conmutación de paquetes denominado "orientado a conexión", que permite crear circuitos virtuales combinando elementos de la conmutación de circuitos y de paquetes. El servicio orientado a conexión es utilizado por muchos otros protocolos como por ejemplo, X.25, Frame Relay, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), MPLS (*Multiprotocol Label Switching*), conmutación óptica, etc.

2. La Primera Internet

Internet nace financiada por DARPA (*Defense Advanced Research Project Agency*) durante la guerra fría. DARPA fue creada por el ejército de EEUU en 1957, a raíz del lanzamiento ruso del *Sputnik*, para asegurar la supremacía de EEUU en tecnologías civiles de uso militar. Los gestores de DARPA trataron de involucrar a la comunidad investigadora de EEUU de forma abierta, en contraposición al secretismo imperante en la mayoría de los proyectos militares de la Unión Soviética, y lo consiguieron plenamente.

El modelo de gestión de proyectos utilizado por DARPA y por otros programas del DoD ha tenido un enorme éxito a largo plazo, porque no sólo lleva al desarrollo de ARPAnet o de Internet, sino también al desarrollo de gran parte de la tecnología electrónica de estado sólido, o del sistema operativo BSD UNIX, que tanta influencia ha ejercido en el mundo de la informática. Todos estos proyectos han tenido una enorme influencia en el mundo de la tecnología, y es muy probable que sin ellos el panorama tecnológico actual fuese muy diferente. Los gestores de los programas y fondos de investigación deberían estudiar el modelo de financiación y gestión utilizado por DARPA, porque la eficacia de aquellos proyectos, así como el impacto conseguido, no han sido igualados por ningún otro programa de desarrollo tecnológico.

El proyecto inicial [5] tuvo como objetivo el desarrollo de una red tolerante a fallos de sus nodos, que se denominó ARPAnet. Para conseguir este objetivo la red debía tener un control descentralizado y redundante en rutas y nodos. En términos militares, la nueva red debía ser

capaz de sobrevivir a un ataque nuclear, un objetivo de capital importancia durante la guerra fría. Es curioso constatar cómo un requisito de carácter militar, la tolerancia a fallos en sus nodos, ha sido probablemente la principal razón de su éxito a largo plazo. Este requisito llevó a sus diseñadores a desarrollar técnicas de conmutación de paquetes con encaminamiento adaptativo, de forma que las redes resultantes fuesen capaces de reconfigurarse si algún nodo dejaba de operar. La arquitectura resultante, además de ser adaptativa, reduce el coste del transporte de información porque utiliza los recursos de la red más eficientemente que la conmutación de circuitos tradicional, especialmente cuando se envían bloques sueltos de información.

En la década de los 70, estando ARPAnet y otras redes ya en uso, surgió la necesidad de interconectar las redes existentes entre sí. Es en este momento, cuando un grupo de investigadores liderados por Vinton Cerf y Robert Kahn, comienzan el desarrollo de lo que hoy conocemos como Internet [2, 7]. Su objetivo fue desarrollar un protocolo que permitiese interconectar varias redes heterogéneas, transformándolas en una única red. El nuevo protocolo recibió el nombre de "*Internet Protocol*" (abreviadamente denominado protocolo IP), es decir, protocolo "entre redes".

La nueva red pasa a denominarse Internet debido a la importancia capital del protocolo IP en la arquitectura de la red. Internet nace oficialmente el 1 de Enero de 1983 cuando muchas de las redes relacionadas fundamentalmente con ARPANET, instalan en sus *routers* y ordenadores la nueva arquitectura basada en el protocolo IP.

El protocolo IP proporciona un servicio de datagramas y tiene como función principal encaminar paquetes desde su origen hasta su destino, a través de todas las redes que componen Internet. Para poder realizar esta función, cada ordenador conectado a la red se identifica por una dirección única en la red, conocida como dirección IP. La dirección IP del destinatario va en todos los paquetes y sirve para que los *routers* puedan encaminar el paquete correctamente hasta su destino. Todo paquete incluye también la dirección del remitente que es utilizada para el envío de paquetes de respuesta.

La asignación de direcciones IP es una tarea administrativa de vital importancia para el funcionamiento de Internet. Esta tarea fue realizada en un principio por ICCB (*Internet Configuration Control Board*), creada en 1979. A medida que crecía su importancia se fueron creando estructuras más representativas para su administración como IANA (*Internet Assignment Number Authority*) y finalmente ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*) [18], que delega la asignación de direcciones IP en organizaciones de tipo regional y local.

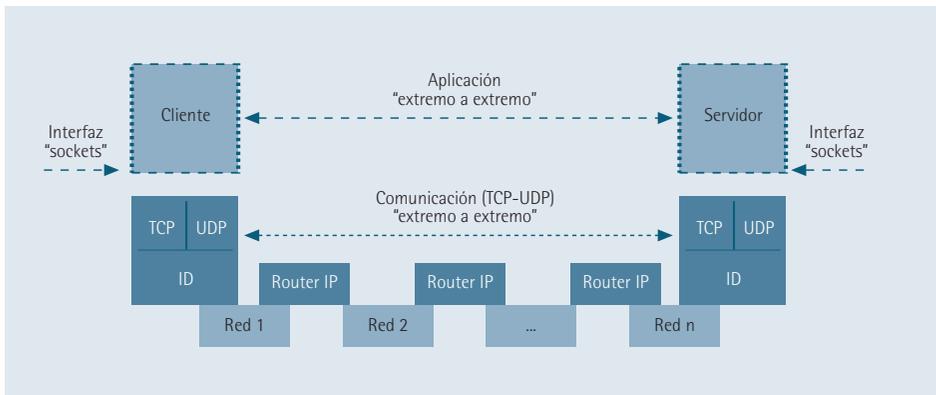
Las organizaciones que solicitaban direcciones recibían bloques de direcciones IP y se comprometían a seguir unas normas de buen comportamiento en el uso de Internet, denominadas "*Internet Code of Conduct*" [24]. En caso de no seguir dichas normas la asignación podía ser retirada. Se asignaban 3 tipos de bloques de direcciones dependiendo del tamaño de la organización solicitante:

- 1. Clase A: Bloque de 16.000.000 direcciones para grandes organizaciones.
- 2. Clase B: Bloque de 65.000 direcciones para organizaciones medianas.
- 3. Clase C: Bloque de 256 direcciones para organizaciones pequeñas.

Al protocolo IP se le añade una capa superior con dos nuevos protocolos: TCP (*Transmission Control Protocol*) y UDP (*User Datagram Protocol*). Estos dos protocolos unifican el interfaz de programación de aplicaciones, facilitando enormemente el desarrollo de nuevas aplicaciones que utilicen Internet. Estos dos protocolos constituyen el núcleo central de la arquitectura de Internet que se conoce como arquitectura TCP/IP (*figura 4*).

La función de TCP/IP es hacer de interfaz entre el mundo de las aplicaciones y el mundo de las tecnologías de red, permitiendo conectar una gran variedad de tecnologías de red con una gran variedad de aplicaciones. Es decir, los protocolos TCP y UDP normalizan sólo lo estrictamente necesario para desacoplar las tecnologías de red de las aplicaciones. IP actúa de interfaz con las redes que se interconectan a Internet y se especializa en encaminar paquetes entre redes. TCP y UDP hacen de interfaz con las aplicaciones dando un interfaz de acceso normalizado, que se denomina "interfaz de socket".

FIGURA 4. *Arquitectura "extremo a extremo" de las aplicaciones sobre TCP/IP.*



Las claves más importantes del éxito de Internet han sido:

- La facilidad de diseño y programación de nuevas aplicaciones que utilizan los protocolos TCP y UDP a través del interfaz de *socket*.
- La enorme capacidad de los órganos de gestión de Internet para innovar y adaptarse a situaciones cambiantes, reaccionando rápidamente frente a problemas.
- La capacidad de IP para incorporar nuevas tecnologías de red de forma incremental, sin afectar el funcionamiento de sus aplicaciones.

Las aplicaciones de Internet utilizan el interfaz de *socket* para comunicar entre sí programas a través de la red. Este interfaz normaliza el acceso de las aplicaciones a la red, simplificando enormemente la realización de aplicaciones. Todo ordenador conectado a Internet incluye el interfaz de *socket* por lo que una aplicación que utilice dicho interfaz puede funcionar desde cualquier ordenador conectado a Internet. *Socket* significa "enchufe" en inglés y probablemente fue escogido por la similitud con la función que tiene un enchufe para la conexión de aparatos

eléctricos a la red: normalizar el acceso permitiendo la producción en serie de dispositivos. En Internet el interfaz de socket permite la producción en serie de aplicaciones que luego podrán ser instaladas en cualquier ordenador de Internet.

El protocolo TCP proporciona a la aplicación un servicio fiable de transporte de datos orientado a conexión. Es un servicio que permite crear circuitos virtuales a través de los cuales dos aplicaciones, en dos ordenadores diferentes, pueden intercambiar datos entre sí sin temor a que se pierdan. El socket TCP es el mecanismo de comunicación básico del modelo cliente-servidor, utilizado en la mayoría de las aplicaciones de Internet actuales:

- 1. El *cliente* permite al usuario acceder a servicios de Internet. Los clientes acceden a los servicios estableciendo un circuito virtual con el servidor que provee dicho servicio. A través de dicha conexión solicitan páginas web, ficheros, ejecución de aplicaciones en otras máquinas, envío de mensajes, etc.
- 2. El *servidor* suministra el servicio a los clientes. Los servidores de aplicaciones poseen una dirección IP y un puerto conocidos, a través de los cuales pueden dar servicio a muchos clientes simultáneamente.

El protocolo UDP proporciona a una aplicación un servicio no fiable de envío de datagramas o bloques de datos. Este servicio inicialmente fue menos utilizado en las aplicaciones, porque no garantiza la entrega de los datos enviados. Sin embargo, en la actualidad su uso está aumentando, debido a que es capaz de proporcionar un servicio más adecuado para el envío de señales de audio y vídeo.

El interfaz de *socket* sigue los mismos patrones de programación que las aplicaciones concurrentes de un sistema UNIX, por lo que el desarrollo de las primeras aplicaciones consistió en trasladar las aplicaciones y servicios utilizados habitualmente por los usuarios de los sistemas operativos UNIX, tales como enviar correos electrónicos de un usuario a otro, copiar ficheros de un directorio a otro o acceder remotamente desde terminales. El traslado fue muy sencillo por la similitud de los interfaces de programación. También se desplegaron algunas aplicaciones que desarrollaban las nuevas posibilidades que permitía la red. Así aparecieron servicios tales como:

- El correo electrónico, conocido como e-mail, nació como una evolución del servicio de correo que ya existía en un ordenador multiusuario, y permitía enviar mensajes de un usuario a otro siempre que tuviesen cuenta en el mismo ordenador.
- Los gestores de listas de distribución de correo electrónico de grupos, que permite comunicar con los miembros de un grupo, y que complementan el servicio de correo electrónico.
- La transferencia remota de ficheros que aparece como una generalización del programa "*copy*" que permite copiar ficheros de un directorio a otro dentro de un mismo ordenador. Un protocolo de transferencia de ficheros generaliza esta operación, permitiendo hacer la copia aunque los directorios estén en ordenadores diferentes. Este servicio usa el protocolo FTP (*File Transfer Protocol*), acrónimo que se usa frecuentemente para denominar el servicio. El servicio FTP se utiliza profusamente para soportar repositorios de documentación compartidos por

grupos que trabajan conectados a través de Internet. De hecho la mayoría de los grupos de trabajo a través de Internet, utilizaban en un principio una lista y un repositorio FTP como mecanismos de comunicación a través de la red.

- El acceso remoto a un ordenador, que es una extensión a la red del servicio de acceso interactivo denominado de tiempo compartido, que poseían los grandes ordenadores. Este servicio permite trabajar como un usuario local desde otro ordenador situado en cualquier parte del mundo y se conoce también por el nombre del protocolo: TELNET.
- El servicio DNS (*Domain Name System*), que permite asignar nombres simbólicos a los ordenadores conectados a Internet y crear los identificadores/localizadores uniformes de servicios o URI/URL (*Uniform Resource Identifiers/Locators*).
- El servicio de News que soportaba foros y grupos de discusión abiertos a todas las personas conectadas a la red.

El principal motor de la expansión de la primera Internet fue fundamentalmente el correo electrónico, aunque, en menor grado, también lo fue la transferencia de ficheros. El correo electrónico facilitó enormemente la comunicación y la colaboración entre personas conectadas a la red. Aunque los primeros correos electrónicos sólo permitían enviar mensajes de texto, pronto se generalizaron para poder adjuntar ficheros, con lo que su utilidad aumentó muy significativamente.

El desarrollo de nuevos servicios también fue una prioridad desde el primer momento en Internet. La arquitectura extremo a extremo posibilitó la experimentación con nuevas ideas y servicios que maduraron posteriormente en la década de los 90. Los nuevos servicios abordaban temas tales como:

- Publicación electrónica de información y documentos en la red.
- Búsqueda de información en la red.
- Creación de comunidades y grupos de interés en la red.
- Automatización de procesos y flujos de trabajo.
- Realización de transacciones comerciales a través de la red.
- Búsqueda y localización de información en la red.
- Grupos y comunidades de interés entre los que destaca el servicio de News.
- Comunicación síncrona, tal como chats, IRC (*Internet Relay Chat*), o voz y video sobre IP.
- ...

2.1 ISOC e IETF: Las reglas que sirvieron para crear Internet

El desarrollo de Internet nos permite obtener enseñanzas de gran interés sobre la forma en que se deben desarrollar las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Probablemente su éxito se deba en gran medida a los métodos de trabajo utilizados por sus desarrolladores.

El desarrollo de Internet siguió desde sus comienzos unos métodos de trabajo muy participativos, que se recogen en las reglas de funcionamiento de ISOC (*Internet Society*) [11], cuando se crea en 1986 para coordinar el desarrollo de Internet.

ISOC se gobierna por dos comités, IAB (*Internet Architecture Board*) e IESG (*Internet Engineering Steering Group*), cuyos miembros son elegidos por las personas afiliadas a ISOC. El trabajo técnico lo realiza IETF (*Internet Engineering Task Force*) [4] bajo supervisión y por delegación de IAB y IESG. IETF se estructura en grupos de trabajo (WGs, *Working Groups*), que se rigen por unas normas de funcionamiento muy abiertas:

- *Libertad para proponer soluciones*: cualquier miembro puede proponer libremente los grupos (WGs). El trabajo de un WG debe abordar problemas técnicos pendientes de solución. La creación de nuevos grupos necesita el visto bueno del IESG.
- *Funcionamiento abierto y democrático*: cualquiera puede participar en los WGs y toda la información manejada por un WG es pública. Los miembros de todos los comités (IAB, IESG, etc.), son elegidos por los miembros de ISOC.
- *Soluciones consensuadas y validadas*: las propuestas consensuadas por un WG se publican en RFCs (*Requests for Comments*). Un RFC debe ser validado en implementaciones reales antes de progresar como norma. Sólo se puede hacer una propuesta de norma (DS – *Draft Standard*) con un mínimo de dos implementaciones de referencia, realizadas por grupos diferentes que interoperan.
- *Competencia y necesidad*: las RFCs pueden competir entre sí, dejando a los usuarios la labor de decidir entre las propuestas.
- *Uso de la red*: aunque los grupos de trabajo se reúnen varias veces al año, utilizan la red como herramienta de comunicación permanente. Cada grupo tiene al menos una lista de distribución por donde deben circular todos los mensajes relacionados con el trabajo del grupo, y un repositorio de ficheros donde deben estar todos los documentos que maneja el grupo de trabajo.

Los desarrolladores de Internet también utilizaron algunas prácticas menos explícitas, pero que igualmente contribuyeron significativamente a su éxito:

- *Software libre*: el software libre, aunque no constituía un requisito, fue muy utilizado en los desarrollos de software relacionados con Internet. El uso de software libre permitió aglutinar rápidamente grandes grupos de usuarios, que realizaban pruebas exhaustivas y proponían mejoras, acelerando los desarrollos.
- *Uso del formato ASCII combinado con TELNET*: el uso de texto ASCII fue intensivo, tanto en RFCs, como en las cabeceras y mensajes de la mayoría de los protocolos. Esto facilitaba la portabilidad entre máquinas, así como la depuración y el análisis de protocolos y aplicaciones. Se evitaba de ese modo la utilización de costosos equipos de prueba, ya que el protocolo TELNET de emulación de terminal remoto, permitía hacer pruebas remotas con suma facilidad,

mostrando el resultado de la prueba directamente en el terminal. Así se abarató mucho el desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones.

- *Conectividad extremo a extremo*: La conectividad "extremo a extremo" existente en Internet, es otro factor que contribuyó a abaratar el desarrollo y la puesta a punto de las aplicaciones, sobre todo desde la aparición del PC. Uno o dos PCs conectados a Internet son suficientes para desarrollar y probar casi cualquier aplicación.

Estas normas de funcionamiento hacen de Internet un sistema en evolución, cuyas reglas crearon desde el principio una gran comunidad de usuarios, que no sólo se benefició del uso de la red, sino que también participó en la selección y prueba de los mejores protocolos y aplicaciones. Esta capacidad de evolución, adaptación e innovación ha sido probablemente decisiva en el éxito de Internet frente a otras propuestas de redes de datos.

Hoy en día los intereses comerciales ejercen una enorme presión sobre Internet, y han transformado muy significativamente el espíritu inicial. Pero Internet es todavía uno de los entornos más abiertos, y mantiene una enorme vitalidad y capacidad de innovación. IETF sigue siendo un foro abierto donde cualquier investigador puede acudir, aunque le sea difícil competir con los enormes recursos que las grandes empresas de Internet dedican a IETF, mientras que el resto de organizaciones de normalización siguen restringiendo el acceso a representantes de países o empresas, los cuales deben desembolsar grandes cantidades de dinero para poder participar.

No parece previsible que las reglas que han permitido evolucionar a Internet de una forma tan exitosa, vayan a cambiar significativamente en un futuro próximo, por lo que es muy probable que la gran comunidad de empresas, usuarios e investigadores que han creado Internet, siga haciendo evolucionar la red en los años futuros, y desarrolle el potencial que aún resta por desplegar.

3. Los Noventa: Internet entra en la Encrucijada

Internet experimenta durante la década de los 90, una enorme demanda de conexión de nuevos sistemas, que la obligan a crecer muy por encima del tamaño para el que había sido diseñada. Durante esta década, Internet deja de ser un servicio para el mundo investigador, transformándose en un servicio comercial. Es en esta década también, cuando aparecen y se consolidan las aplicaciones y servicios más importantes de Internet. Este proceso provoca múltiples cambios en la arquitectura de la red y de sus aplicaciones que pasamos a revisar con mayor detalle.

3.1 La escasez de direcciones IP

Internet se gestó en los años 70 cuando sólo existían ordenadores grandes (*mainframes*) y medianos (*minis*), por lo que el protocolo IP se diseñó imponiendo un límite, que entonces

parecía inalcanzable, de aproximadamente 4000 millones de ordenadores conectados a la red. Nadie podía imaginar entonces, la enorme proliferación de ordenadores que iba a provocar la aparición del ordenador personal (PC).

A principios de los 90, fue cuando se detectó una escasez de direcciones IP que disparó las alarmas. Por tal motivo, IANA elimina la asignación de clases A, B y C, e introduce un nuevo procedimiento de asignación de direcciones mucho más restrictivo, conocido como CIDR (*Classless Inter Domain Routing*).

IETF trabaja en paralelo en la búsqueda de otras soluciones. La técnica de ahorro más extendida se denomina NAT (*Network Address Translators*) y permite conectar redes enteras a Internet a través de una única dirección IP, utilizando direcciones privadas. Estas redes se denominan por tanto, redes privadas. Esta solución permite satisfacer la enorme demanda de conectividad sin gasto apreciable de direcciones IP públicas, pero rompe la conectividad extremo a extremo de las aplicaciones, modificando muy significativamente la arquitectura de Internet. Desde dentro de una red privada, es decir, desde detrás de un NAT, sólo se puede acceder como cliente a algunos servicios de la Internet pública, como páginas web o correo electrónico.

Los servidores dan servicio a través de una dirección IP y de un puerto, que deben ser públicos, por lo que la instalación de servidores detrás de un NAT no es posible, salvo que el dispositivo NAT permita hacer traducciones permanentes de direcciones y puertos públicos a las que realmente posee el servidor en el dominio privado. Muchas de las aplicaciones que se desarrollan durante esta década no pueden desplegarse de forma generalizada debido a las dificultades que crean los dispositivos NAT.

Además de NAT aparecen protocolos de asignación dinámica de direcciones que, aunque en menor medida que NAT, también han permitido ahorrar direcciones. Los dos protocolos de asignación dinámica de direcciones más utilizados son: el protocolo DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) que asigna direcciones temporales a un ordenador en entornos de red de área local, y el protocolo PPP (Point to Point Protocol) muy utilizado en el acceso a Internet a través de módem telefónico que también realiza asignación dinámica de direcciones.

En paralelo a la introducción de las soluciones anteriores, que sólo paliaban el problema, se formaron grupos de trabajo en la IETF con el objetivo de buscar soluciones más duraderas, basadas en buscar alternativas al protocolo IP. Estos grupos convergieron en una única propuesta publicada en 1998, que se conoce como IPv6 (IP versión 6) [10], para diferenciarla de la versión de IP actual, conocida como IPv4 (IP versión 4).

3.2 El mundo de las aplicaciones: el Web

La gran contribución de la década de los 90 son las múltiples aplicaciones que aparecen. Éstas dan un enorme valor añadido a la red y son el auténtico motor del crecimiento. De entre todas las aplicaciones, la estrella indiscutible es el "*World Wide Web*" [3], propuesto en 1989 por el investigador británico Tim Berners-Lee. Tim Berners-Lee propone el Web estando en el CERN, el gran laboratorio europeo de física de altas energías, para coordinar experimentos científicos en

el mundo de la física de altas energías, aunque su autor era consciente del potencial de su propuesta en muchos otros ámbitos de Internet.

Tim Berners-Lee concibió el *web* como un vehículo de comunicación universal a través de Internet. La propuesta inicial de *web* define un interfaz abierto muy eficaz para la publicación de documentos en la red, de forma que estén accesibles para cualquier otro usuario. Cada documento puede además enlazar otros documentos en la red utilizando hiperenlaces. Tim Berners-Lee define el *web* como un universo de mundos de información interconectados, donde cada página *web* es el centro de uno de esos mundos. El autor de una página es el dueño y gestor del mundo que describe, decidiendo qué información quiere compartir con el resto de la red y con qué páginas quiere enlazar. El *web* permite crear a cada usuario de la red el mismo modelo de relaciones que existe en la vida real, donde existe información privada, información compartida sólo con ciertos grupos e información pública, y donde los hiperenlaces definen las relaciones de cada uno de estos ámbitos de información con el resto del mundo. *Web* significa en inglés telaraña, probablemente porque fue el símil que mejor representa la enorme malla de enlaces entre páginas de información.

El *Web* es el mejor ejemplo del enorme potencial de los interfaces abiertos, porque las ideas en que se basa ya se habían desarrollado en entornos cerrados o propietarios, pero es sólo cuando estos servicios se trasladan a un entorno abierto, cuando se despliegan de forma masiva. Las características a las que el *web* debe probablemente su éxito son:

- 1. Es un *interfaz* abierto que permite interconectar a todos los usuarios de la red.
- 2. La *simplicidad* de uso que permite navegar por toda la red haciendo uso sólo del ratón y ocasionalmente de un teclado.
- 3. La *facilidad de instalación de servidores web* que pueden ser gestionados incluso por personas individuales.
- 4. La *naturaleza descentralizada*, donde el autor de cada página decide qué información publicar y con quién enlazarla.

El *web* evoluciona rápidamente transformándose en un servicio de acceso remoto a aplicaciones que se ejecutan en servidores accesibles a través de Internet. Esta forma de acceso se popularizó muy rápidamente, porque permitió dar acceso a través de una Intranet corporativa o a través de la Internet pública, a las aplicaciones corporativas propietarias que existían anteriormente. Estos nuevos servicios *web* se denominan interactivos y permiten crear tiendas electrónicas, servicios de acceso a bases de datos y repositorios de información, buscadores de información, de soporte a la educación, de administración electrónica, etc.

La naturaleza descentralizada de los servidores *web*, así como su sencillez de instalación, produjo desde el principio un crecimiento enorme de la información disponible en la red, cuya catalogación por métodos tradicionales es imposible. La búsqueda de información y datos, o incluso el aprovechamiento de todo el conocimiento que existe en la red, fue uno de los objetivos prioritarios en Internet y ha llevado a la aparición de buscadores de información, tales

como *Yahoo* [12], *Altavista*, *Lycos*, *Excite* o *Google* [9], el último en aparecer, pero el favorito de los usuarios por su extraordinaria eficacia.

La eficacia de estos buscadores en general, y de *Google* en particular, es tal que está creando una auténtica revolución en la gestión y almacenamiento de la información. Hay expertos que empiezan a considerar que la información sólo hay que producirla y publicarla en *web*, porque siempre podremos encontrarla con un buscador. Las enciclopedias tradicionales no pueden competir con la información en la red debido a la lentitud que su actualización conlleva.

El gran interés despertado por el *web* en el mundo empresarial y la rápida popularidad alcanzada, llevó en octubre de 1994 a la creación del WWW Consortium [8], conocido abreviadamente como W3C. Su objetivo fue, y sigue siendo, garantizar el desarrollo del *web* como un vehículo de comunicación universal. Tanto Tim Berners-Lee, como una gran comunidad de miembros, velan por el mantenimiento del W3C como una organización neutra e independiente de los fabricantes, que trata de producir las normas que rigen el *web* al ritmo que demanda la evolución de la tecnología actual. La estructura y forma de funcionamiento es diferente de ISOC e IETF, porque sólo pueden acceder organizaciones que deben afiliarse y pagar una cuota, pero su funcionamiento es muy abierto y ágil. El enorme impacto del *web* ha hecho del W3C un foro de gran importancia, siendo junto con IETF, las asociaciones que mayor influencia ejercen en la evolución de Internet.

3.3 El control de la seguridad: Los cortafuegos compartimentan la red

Los diseñadores y los primeros usuarios de Internet, que en muchos casos eran las mismas personas, pusieron todo su énfasis en hacer de Internet un foro abierto donde poder experimentar, comunicarse y colaborar. Aunque la seguridad fue una preocupación importante de los diseñadores de Internet, y en IAB existió desde sus comienzos en 1983 un grupo de trabajo sobre este tema, los grandes problemas de seguridad no aparecen hasta el uso masivo de Internet durante los 90. Es en estos años cuando comienza el comercio electrónico, cuando las redes corporativas se conectan a Internet, y cuando la red se convierte en un canal global de diseminación de información y de publicidad. El crecimiento de Internet crea una comunidad de usuarios muy grande y heterogénea donde las reglas establecidas por el "*Internet Code of Conduct*" ya no son efectivas. En este nuevo contexto se popularizan sobre todo dos técnicas de control de la seguridad: los cortafuegos y las extensiones, que permiten hacer transacciones *web* seguras.

Un cortafuegos es un dispositivo que aísla una red corporativa o privada (denominada Intranet) de la Internet pública, protegiendo la Intranet de los peligros que acechan en el exterior, tales como virus, hackers, gusanos, espías, etc. El control de la seguridad dentro de la Intranet se realiza garantizando que el grupo que utiliza la Intranet hace un buen uso de la misma. Una organización sólo deja acceder a la Intranet a sus empleados, presuponiendo que van a hacer un uso "correcto" debido al contrato que les une con la empresa.

Internet era en sus comienzos algo muy parecido a una gran Intranet, que utilizaban casi exclusivamente los miembros de la comunidad investigadora y académica, siguiendo

mayoritariamente unas reglas de buen comportamiento [24] que garantizaban un uso correcto y eficaz de la red.

Para permitir la realización de transacciones seguras, se ha desarrollado un protocolo de acceso a web con seguridad denominado HTTPS, que protege la información que circula por la red cifrando la información y autenticando los servidores. HTTPS está basado en los protocolos SSL/TLS.

La utilización de cortafuegos y de transacciones web seguras ha permitido un cierto control de la seguridad, pero quedan muchos problemas todavía por resolver.

3.4 Los modelos de negocio de Internet

Muy pocos fueron capaces de predecir el enorme impacto que Internet iba a tener. Por eso la evolución de Internet ha sido controlada en muchos casos por pequeñas empresas que apostaron en el momento adecuado por Internet, y crecieron después vertiginosamente hasta convertirse en pocos años en enormes multinacionales. El caso de la empresa CISCO Systems es paradigmático. CISCO fue una empresa pionera en la fabricación de *routers*, y se convirtió en pocos años en una de las mayores multinacionales de EEUU.

Internet ha generado grandes volúmenes de negocio para los productores de los equipos y de las aplicaciones necesarias para desplegar la red, los servicios, los servidores y los portales. Las empresas relacionadas con este sector se han convertido en muchos casos en líderes del mercado, por ejemplo, CISCO, SUN Microsystems, Oracle, Microsoft, etc. Los servicios asociados a Internet también han generado un volumen considerable de negocio.

Otro componente de negocio importante de las empresas de Internet es la venta a través de la red. Este modelo de negocio generó excesivas expectativas, y fue una de las principales causas de la burbuja especulativa de la nueva economía a finales de los 90. Muchas empresas de la nueva economía se crearon con inversiones de tipo especulativo sin tener un modelo de negocio real y no fueron capaces de sobrevivir a la crisis de finales de los 90. Han sobrevivido las empresas que como Amazon, Ebay o Google se crearon con modelos de negocio sólidos, basados en ingresos por ventas, servicios, publicidad, etc.

Internet ha generado en cambio menor volumen de negocio, sobre todo en Europa, a las operadoras que dan servicio de acceso a Internet, denominadas ISPs (*Internet Service Providers*). Un ISP da acceso a sus usuarios normalmente a través de un "portal" de acceso a la red. Un portal unifica el punto de acceso a Internet y permite crear una economía de mayor escala, al concentrar diversas fuentes de ingreso, tales como cuotas de acceso, cobro de servicios, publicidad, etc.

4. El nuevo Milenio: Hacia una Internet de Nueva Generación

Al empezar el nuevo milenio, Internet se ha introducido en todos los ámbitos de la sociedad y es usada por personas sin conocimientos informáticos. Los nuevos usuarios son mucho más

exigentes y demandan conexión automática (denominada *Plug&Play*) de terminales, aplicaciones y servicios.

Por otro lado y a pesar del estancamiento producido por la crisis de la nueva economía, Internet se ha convertido, sin ningún lugar a dudas, en un factor de competitividad económica en los países más desarrollados, especialmente en EEUU. Internet se utiliza en múltiples procesos críticos como, por ejemplo, organizar la comunicación y los procesos en las empresas, la administración pública, o incluso es usada por particulares para buscar o intercambiar grandes cantidades de información. Todo esto hace que el papel de Internet en el crecimiento económico sea cada vez más importante. Esto permite inferir que la capacidad de Internet para crecer, tal y como lo hizo en el pasado, puede ser vital para soportar el crecimiento económico en los próximos años.

La experiencia acumulada durante la última década, indica que Internet puede tener problemas para soportar un crecimiento similar al de los años 90 sin una puesta al día de su arquitectura, que dé respuesta a los retos y problemas todavía sin resolver. Esta nueva arquitectura debe permitir un fuerte crecimiento, tanto del número de usuarios y terminales conectados a la red, como del número de aplicaciones y servicios soportados por la red, además de facilitar al máximo la accesibilidad y la usabilidad de los nuevos servicios.

Esta puesta al día es lo que habitualmente se denomina Internet de Nueva Generación, porque aunque es sólo un paso más en la evolución de la red, es la primera redefinición significativa de la arquitectura de Internet que se realiza, donde se van a cambiar sus componentes más importantes, tales como el protocolo IP o la arquitectura del *web*.

La única forma de predecir cómo será la Internet de Nueva Generación, es sobre la base de las propuestas que se están debatiendo en IETF y W3C, las dos organizaciones con mayor influencia en el desarrollo de Internet. Las propuestas de protocolos o de componentes básicos de Internet tardan mucho tiempo en madurar, y pasan por distintas fases de definición, validación y mejora. Sólo se despliegan de forma masiva, si después de pasar por estas fases, son aceptadas ampliamente. Aunque existe alguna excepción, la mayoría de los protocolos y demás componentes de Internet sólo se han desplegado después de haber sido discutidos y evaluados durante suficiente tiempo en estas organizaciones.

En este momento existen una serie de propuestas de cambios arquitecturales importantes, que han alcanzado su madurez y se están empezando a desplegar, entre las que cabe destacar:

- La definición por el W3C de una nueva arquitectura del *web*.
- La arquitectura de servicios multimedia de Internet definida por IETF.
- La consolidación de los paradigmas P2P y GRID.
- El protocolo IPv6 con direcciones en abundancia y sus nuevos servicios.
- El nuevo marco de seguridad con identidad digital para todos los usuarios.

Todo parece indicar que estas propuestas van a ser pilares fundamentales de la arquitectura de la Internet del futuro, aunque como todo en Internet, su rechazo o sustitución por otras alternativas es posible, pero poco probable.

Además, el acceso a la nueva Internet se realizará con terminales más potentes, sofisticados y probablemente de menor tamaño. El terminal móvil se convertirá en el terminal predominante, y la banda ancha será la conexión habitual en los terminales fijos.

4.1 Los nuevos terminales y el acceso a Internet

Tradicionalmente cada red de telecomunicación ha tenido un terminal de acceso diferente, por ejemplo:

- Internet: el PC o la estación de trabajo.
- Red telefónica: el teléfono fijo y últimamente el teléfono móvil.
- Radio y Televisión: la radio y el televisor.

La irrupción de las tecnologías multimedia y la consiguiente convergencia entre sectores económicos [26] antes claramente separados, como radio-televisión, cine, telefonía o medios de comunicación, ha iniciado un proceso de convergencia en los terminales de acceso a las diferentes redes de telecomunicación, que presiona para unificar el terminal de acceso, de forma que un único terminal permita acceder a más de una red. Durante los últimos años ha habido múltiples intentos de integración, como por ejemplo, la integración del acceso a Internet en teléfonos fijos, teléfonos móviles o en el televisor.

El enorme éxito de la telefonía móvil de segunda generación GSM [22] ha mostrado las enormes posibilidades del acceso móvil, por lo que el primer paso ha sido la inclusión del acceso a Internet en el teléfono móvil. El despliegue de la tercera generación de telefonía móvil completará esta unificación del acceso de voz y datos, porque se ha diseñado con este propósito. Japón ha sido el país pionero en esta integración, debido probablemente a la escasa implantación de la Internet tradicional. El servicio i-mode [23] ha tenido un enorme éxito. Desde su lanzamiento en 1999 por NTT Docomo, no ha parado de crecer, y tiene en 2004 unos 50 millones de usuarios, por lo que el teléfono móvil se ha convertido ya en el terminal de acceso a Internet más extendido en Japón.

También se están invirtiendo grandes recursos para desarrollar el acceso a Internet a través del televisor, aunque con escasa aceptación de momento. La introducción de la televisión digital quizá acelere esta integración.

La fuerte evolución tecnológica ha impactado mucho en los terminales, que tienden a reducir su tamaño, a funcionar con baterías, a incorporar acceso inalámbrico o incluso cámaras de vídeo o fotográficas, como ocurre por ejemplo, con la agenda personal digital (PDA), el ordenador portátil, el *tablet* PC o el teléfono móvil. Incluso la consola de videojuegos está incorporando acceso a Internet. El PC todavía es el terminal de acceso dominante, pero los nuevos terminales empiezan a disputarle esta posición.

Los nuevos terminales tienen normalmente pantallas táctiles y de menor tamaño, teclados especiales y otros periféricos específicos, por lo que las aplicaciones tradicionales no son fácilmente accesibles a través de éstos, habiéndose creado un nuevo marco que obliga a rediseñar las aplicaciones, por ejemplo, adaptando una aplicación para que sea fácilmente

accesible, tanto desde la gran pantalla de un PC como desde la de un teléfono móvil. También empiezan a utilizarse nuevos formatos de entrada/salida, tales como gráficos especiales, voz, sonido, etc. Este nuevo marco obliga a redefinir la arquitectura de las aplicaciones, llevando por ejemplo, al W3C a incluir entre sus líneas de trabajo prioritarias, el soporte a la "independencia de dispositivo", la "accesibilidad" y la "multimodalidad" en la nueva arquitectura del *Web*.

Por último, existe un nuevo tipo de dispositivos con conexión a Internet que no está pensado para conectar personas, sino dispositivos de almacenamiento de información o de control remoto, sensores de información, localizadores de posición, máquinas expendedoras, etc. El potencial de estos dispositivos conectados a la red es muy alto, especialmente si se usa acceso inalámbrico, que simplifica mucho su instalación.

Este tipo de dispositivos están empezando a conectarse a Internet y se espera que proliferen en el futuro, por ejemplo en televisores, equipos de alta fidelidad, reproductores de música, lavadoras, neveras, aire acondicionado, cocinas, microondas, ascensores, sistemas de riego en jardines, controladores de máquinas expendedoras, cámaras de seguridad y control, coches, detectores de incendios, aviones, barcos, etc. Dentro de este apartado, el hogar digital es una de las áreas donde antes se espera el desarrollo de nuevos servicios conectados a la red, por ejemplo, para la obtención, almacenamiento y reproducción de música o películas de vídeo, o para controlar el estado de los múltiples aparatos de una vivienda. La lista de dispositivos capaces de conectarse a Internet es muy grande y el potencial de crecimiento en este segmento es enorme.

4.2 El nuevo Web

El *web* es el interfaz de acceso por excelencia a la información y a los servicios de Internet. Sin embargo, el *web* actual posee muchas limitaciones, por ejemplo, no permite representar documentos de calidad tipográfica, no soporta la cooperación entre aplicaciones (sólo facilita el acceso remoto), no permite catalogar la información en función de su significado semántico, etc. El W3C [8] está redefiniendo la arquitectura del *web* desde hace varios años con objeto de eliminar estas limitaciones.

El viejo *web* se diseñó para facilitar el acceso de personas a la información y a los servicios de Internet, mientras que el nuevo *web* se está diseñando para permitir además que los servicios de Internet puedan cooperar entre sí. Esto se consigue con interfaces abiertos utilizables por aplicaciones y servicios. Se prevé que la definición de la nueva arquitectura abierta permita crear una ola de nuevos servicios similar a la que el *web* creó en su momento.

La nueva arquitectura del *web* es bastante más compleja y posee múltiples componentes nuevos, tales como:

- 1. *XML*: un formato abierto y extensible de definición de lenguajes de marcado y de definición de datos. *XML* es un nuevo lenguaje de extraordinaria potencia expresiva sobre el que se está construyendo la nueva arquitectura del *web*.

- 2. *Publicación de documentos con calidad tipográfica*: sustitución de HTML por una familia de nuevos lenguajes de publicación electrónica definidos en XML, que permitan publicar documentos electrónicos de calidad, utilizando una nueva familia de lenguajes:
 - *XHTML*: lenguaje que redefine HTML en XML, eliminando algunas ambigüedades de la definición actual de HTML. XHTML puede ser procesado, tanto por los viejos visores *web* basados en HTML como por los nuevos visores *web* basados en XML.
 - *MathML* para definición de fórmulas matemáticas.
 - *SVG* para definir gráficos de calidad de tipo vectorial.
 - *SMIL* para definir animaciones y elementos multimedia.
 - *XFORM* para definir formularios generalizados para servicios de comercio electrónico y otras aplicaciones distribuidas.
 - Hojas de estilo CCS (*Cascading Style Sheets*) para independizar la definición del formato de presentación de un documento de su contenido. Las dos primeras versiones de CCS se vienen utilizando desde hace tiempo, incluso con HTML. CCS facilita la adaptación de las aplicaciones a los diversos terminales que existen actualmente, a través de perfiles que adaptan la información a presentar a los diferentes tipos de dispositivos: PC, teléfono móvil, PDA, etc.
 - Y otros muchos.
- 3. *WAI (Web Accessibility Initiative)*: que realiza desarrollos de tecnología básica, revisión de normas, instrucciones, herramientas, investigación y educación, en todas las normas relacionadas con universalización del acceso de personas mayores, de discapacitados, áreas rurales y remotas, o terminales de bajo coste, siendo sus documentos la referencia más importante en estos temas.
- 4. *La actividad de internacionalización*: que define convenios, instrucciones, códigos de caracteres y demás componentes necesarios para que cualquier lengua pueda ser utilizada en el *web*.
- 5. *La actividad de independencia de dispositivo*: que tiene como objetivo hacer el *web* accesible a través de cualquier dispositivo y no sólo a través de los visores convencionales. Por ejemplo, teléfonos móviles, televisión, cámaras digitales, ordenadores embarcados, PDAs, dispositivos de voz, etc.
- 6. *VoiceXML*: soporta la creación de servicios donde el intercambio de información entre el usuario y el servicio pueda ser también a través de voz, además de imágenes y texto.
- 7. La seguridad tampoco se ha olvidado en la nueva arquitectura. El W3C ha desarrollado *XML Signature*, *XML Encryption* y *XML Key management* para gestión de seguridad, acceso seguro a servicios, firma electrónica y control de integridad de documentos XML, etc.
- 8. *Web Services*: el conjunto de recomendaciones conocidas como *Web Services* [20] está despertando actualmente un enorme interés. Su objetivo es definir un marco arquitectural abierto, donde las aplicaciones *web* puedan colaborar entre sí y reutilizar sus recursos en áreas de aplicación tales como, comercio electrónico, consulta a bases de datos, automatización de procesos, etc.

- 9. El *Web Semántico*: el proyecto más ambicioso del W3C es el *Web Semántico* [18, 19], cuyo objetivo es definir un marco de gestión de la información en Internet para permitir su clasificación automática por aplicaciones, como si toda la información disponible en Internet fuese una gran base de datos relacional.

El desarrollo de la nueva arquitectura del *web* está muy avanzado a pesar de su complejidad. La migración de la arquitectura actual a la nueva arquitectura también ha comenzado. El W3C ha diseñado cuidadosamente la transición para que sea incremental, debido a la complejidad de la misma. La clave está en el lenguaje XHTML que permite migrar los servicios *web* actuales a la nueva arquitectura, sin que dejen de funcionar los servicios existentes. Un proveedor de servicios *web* que desee migrar sus repositorios de información *web* a la nueva arquitectura, deberá utilizar sólo XHTML en todos sus repositorios y servicios, permitiendo así acceso tanto a los usuarios que todavía no hayan migrado a la nueva arquitectura, como a los que ya hayan migrado.

La migración de los clientes a la nueva arquitectura es mucho más sencilla, porque simplemente deberán instalar un visor *web* que dé soporte a los nuevos lenguajes. La mayoría de los visores *web* (*Explorer*, *Mozilla*, *Conqueror*, etc.) ya soportan las nuevas normas del W3C.

4.2.1 Voz y Vídeo sobre IP

La tecnología básica para envío de voz y vídeo en formato digital a través de Internet ha alcanzado una madurez notable; la transmisión de voz y vídeo a través de Internet avanza aunque no está exenta de problemas debidos tanto a factores técnicos como económicos. Por ejemplo:

- La naturaleza de Internet no puede garantizar una excelente calidad de servicio en la transmisión de voz y vídeo, que evite cortes o interrupciones.
- La competencia con la red telefónica, así como la imposibilidad de aplicar sus modelos de negocio, diferenciando llamadas locales, interurbanas y de larga distancia, lleva a las compañías telefónicas tradicionales a no desplegar decididamente estos servicios, que sí se ofrecen por nuevos actores.
- La falta de mecanismos de señalización que permitan reproducir en Internet los servicios actuales de la red telefónica, tales como: red inteligente, Centrex, PABX, etc.

Aunque en estos momentos existe una gran actividad en este campo, el tráfico de voz y vídeo está todavía muy por detrás del de datos.

4.2.2 P2P y GRID

Internet utiliza mayoritariamente el modelo cliente-servidor, pero últimamente hay dos paradigmas de aplicación alternativos que están teniendo un auge notable: la computación "igual a igual" (P2P, *Peer to Peer*) y la computación en red, también conocida como "*GRID computing*".

Las aplicaciones P2P han surgido para dar soporte a comunidades de usuarios que comparten ficheros a través de la red. En el modelo P2P todos los componentes de una aplicación pasan a ser "iguales". Los "iguales" (peers) pueden actuar como clientes o como servidores, según requiera la aplicación.

El primer servicio P2P masivo fue NAPSTER [16], que mostró su potencial aglutinando rápidamente una gran comunidad de usuarios que intercambiaban libremente música y canciones en formato MP3. Su éxito ha llevado al desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones tales como [15]: Freenet, Gnutella, Kazaa, Groove, eDonkey, etc.

La clave de las aplicaciones P2P reside en que explotan las ventajas económicas del almacenamiento distribuido. Hoy en día los discos duros de los PCs son muy baratos y tienen una gran capacidad de almacenamiento, por lo que crear un gran repositorio distribuido utilizando P2P es mucho más barato y fácil de gestionar, que centralizar todo el almacenamiento en un gran servidor.

GRID computing [21], que podríamos traducir como computación en malla, es otro paradigma de proceso distribuido que apareció hace muchos años, pero que sólo ha empezado a despertar interés recientemente. Las aplicaciones *GRID* utilizan Internet como el bus de un gran multi-computador de ámbito planetario, donde ordenadores conectados a través de la red, se distribuyen tareas de gran complejidad de cálculo. *GRID* ha explotado hasta ahora las ventajas económicas del cálculo distribuido. Un gran supercomputador es mucho más caro que un grupo de PCs de potencia equivalente. SETI@home [13] es quizá el ejemplo más exitoso y conocido, habiendo conseguido unir 3,3 millones de PCs, con una capacidad de cálculo equivalente a 31 Teraflops/s, que tratan de descifrar señales extraterrestres. La computación *GRID* está considerada como uno de los grandes retos para el futuro de la red y la comunidad investigadora se ha integrado actualmente en torno al *Global GRID Forum* [14].

4.3 Un nuevo marco de seguridad

La seguridad en la red no es muy diferente de la seguridad en otros ámbitos de la sociedad. Hacen falta leyes e instrumentos que la regulen, la controlen y la administren, complementados con una infraestructura de soporte. La legislación sobre seguridad deberá identificar los actos delictivos en la red, y éstos deberán ser perseguidos por los órganos judiciales y policiales pertinentes. Un componente fundamental es la creación de una identidad digital que permita identificar a los usuarios en sus accesos a la red.

Muchos países han empezado a dar los primeros pasos para la creación de una identidad digital. Por ejemplo, en España, el Ministerio de Hacienda ya emite a través de la Casa de la Moneda certificados válidos para realizar la declaración de la renta, así como otras operaciones con la Administración. El desarrollo de un sistema de identidad digital válido de forma general en la red, está todavía en vías de construcción. La identidad digital se podrá asignar también a ordenadores, *routers*, empresas, organismos públicos, etc.

Aquí sólo vamos a analizar el impacto que la introducción de seguridad va a tener sobre la arquitectura de Internet, incluyendo los elementos que la red necesita para administrar la

identidad digital, así como los protocolos que permiten autenticar usuarios y proteger sus operaciones a través de la red.

La identidad digital utiliza un sistema de doble clave asimétrica, donde los documentos cifrados con una de las claves, sólo pueden ser descifrados con la otra clave. Éstas se denominan clave pública y privada, y se utilizan de la siguiente forma:

- La clave privada identifica a su dueño y sólo debe ser conocida por él. Ninguna otra persona o programa puede tener acceso a la clave privada, porque podrían suplantar su identidad digital, firmando documentos en su nombre o descifrando documentos secretos.
- La clave pública es pública (valga la redundancia), para que cualquiera pueda verificar la firma y la integridad de los documentos emitidos por el dueño de la identidad digital.

La autenticidad de la identidad digital sólo se puede garantizar a través de un tercero fiable, que suele ser una autoridad certificadora independiente que posea la confianza de los usuarios. Es esta autoridad la que emite las claves pública y privada de un usuario, además de emitir un certificado de identidad digital cuya autenticidad queda garantizada por su firma. Un certificado de identidad digital sigue la norma X.509v3 de ITU y contiene la identidad real del usuario, su clave pública, además de la firma de la autoridad certificadora que garantiza su autenticidad. La identidad digital permite:

- *Firma digital.* Un usuario puede firmar un documento electrónico generando una firma digital con su clave privada, cuya autenticidad podrá ser comprobada por un tercero con la clave pública que se obtiene de su certificado.
- *Comprobación de la integridad de un documento.* La firma digital puede realizarse de forma que si un documento se modifica, la comprobación de autenticidad utilizando la clave pública fallará.
- *Envío de documentos cifrados.* Cualquier documento puede ser cifrado con la clave pública del destinatario. El documento sólo puede ser descifrado con la clave privada, por lo que sólo podrá ser leído por el destinatario, que es el único que conoce su clave privada.

Por otro lado, aunque la asignación de identidades digitales a todos los usuarios de Internet es técnicamente factible, su despliegue requiere una enorme infraestructura, basada en normas conocidas como PKI (*Public Key Infrastructure*), donde se registren todas las identidades digitales garantizadas por los organismos competentes en el tema. La creación de esta infraestructura es uno de los grandes retos de la creación de un marco de seguridad.

Otro componente importante de la seguridad en la red son los protocolos de seguridad, que utilizan la identidad digital para realizar operaciones seguras. Los dos protocolos más importantes son SSL/TLS e IPsec, pero debido a las limitaciones de este capítulo, no vamos a entrar en sus detalles.

4.4 La evolución de la arquitectura TCP/IP: la transición de IPv4 a IPv6

La escasez de direcciones IP públicas, así como la introducción de un direccionamiento jerárquico en Internet son dos problemas cuya solución sólo parece posible con la sustitución del protocolo IP actual (versión 4 de IP o IPv4) de la arquitectura TCP/IP, por la versión 6 de IP (IPv6). IPv6 está considerado actualmente cómo la única solución para restaurar en la arquitectura de Internet los principios con que se diseñó: el direccionamiento universal y la conectividad extremo a extremo. La introducción de IPv6 será un proceso complejo y costoso, pero creará una arquitectura de Internet mucho más adaptada a los requisitos de uso actual y, sobre todo, futuro. IPv6 facilita también la introducción de nuevos protocolos que solucionen otros retos de la arquitectura TCP/IP, tales como seguridad, movilidad, calidad de servicio, comunicación de grupo en tiempo real, etc. El protocolo es además extensible y permitirá incorporar en el futuro nuevos protocolos a medida que sean demandados.

Una Internet basada en IPv4 puede sobrevivir todavía por algún tiempo a base de parches, suponiendo que el crecimiento de la red sea limitado. Pero a medida que pase el tiempo, el coste real y de oportunidad de mantener la arquitectura actual basada en IPv4 será cada vez mayor. A pesar de que algunos de los nuevos servicios pueden ser desplegados en IPv4, su despliegue requerirá cambios que pueden llegar a tener costes similares a los de la introducción de IPv6, pero sin obtener los beneficios de una nueva arquitectura adaptada al uso masivo que ha alcanzado Internet.

La transición a IPv6 parece haber comenzado ya, tanto en el mundo de la investigación, como en los países del sudeste asiático o en organismos que han comprendido que la transición va a ser compleja y es conveniente empezar ya:

- La mayoría de las redes académicas ya han instalado en sus *routers* doble pila IPv6/IPv4, para soportar tanto el envío de paquetes IPv6 como IPv4. Por ejemplo, RedIris en España, GEANT en Europa, Internet2 en EEUU, etc.
- El Departamento de Defensa de EEUU obliga a que cualquier equipo adquirido después de octubre de 2003 soporte IPv6, y todas las redes del DoD deben haber incorporado IPv6 para el 2008.
- Muchos países de la región Asia-Pacífico, que no poseen suficientes direcciones IPv4 ya han comenzado una transición acelerada a IPv6. Por ejemplo, Japón, Corea, Taiwan, China, etc.
- La Comisión Europea, así como otros países, han creado "*IPv6 Task Forces*" para promover la transición en cada uno de esos países.
- Cada vez más ISPs ofrecen servicios precomerciales IPv6.
- La introducción de servicios multimedia en UMTS [25] también debe crear una gran demanda, porque los servicios multimedia IMS de 3GPP se basan en IPv6. Actualmente existen más de 800 millones de abonados GSM en el mundo, que deberán pasar a UMTS en un futuro no muy lejano.

El primer gran cambio introducido por IPv6 es, por supuesto, una nueva dirección de mayor tamaño (128 bits) que permite dar aproximadamente 1038 direcciones públicas diferentes, es decir:

340.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 direcciones públicas.

El número es tan grande, que parece imposible agotarlo, aunque es muy probable que la tecnología del futuro necesite muchas más direcciones de las que podamos imaginar hoy, y este espacio también se agote algún día. En 1970 las aproximadamente 4.000.000.000 direcciones del protocolo IPv4 parecían totalmente suficientes. La introducción de IPv6 permitirá una gestión más fácil de Internet, al obligar a una asignación jerárquica del espacio de direcciones, permitir la conexión automática de nuevos ordenadores (*plug&play*), o al simplificar la reenumeración de redes. IPv6 incluye además como componente obligatorio el protocolo de seguridad IPsec, e integra más eficazmente que IPv4 facilidades tales como distintos grados de calidad de servicio (QoS), movilidad IP, *multicast* o *anycast*.

El mayor problema para la introducción de IPv6 en Internet está en cómo realizar la transición de IPv4 a IPv6 de forma que no se interrumpa el servicio. Durante los últimos años IETF ha desarrollado múltiples mecanismos de transición y coexistencia entre IPv4 e IPv6 [6]. El mecanismo de transición más importante es la doble pila IPv6/IPv4. Los ordenadores que instalen doble pila podrán comunicar con ordenadores de la vieja (IPv4) y la nueva (IPv6) Internet. Además, hay muchos otros mecanismos de transición [6], basados en traductores entre IPv6 e IPv4 o en túneles, que permitirán la interoperabilidad de los nuevos sistemas que sólo tengan IPv6 con el mundo IPv4. Curiosamente uno de los mecanismos, denominado NAT-PT, está basado en NAT. Igual que NAT permite acceder a servicios IPv4 desde una red privada, NAT-PT permite acceder a servicios IPv4 desde una red IPv6.

Otro problema, probablemente de mayor envergadura que el anterior, es la migración de aplicaciones a IPv6 [17]. Las aplicaciones IPv6 también utilizan TCP, UDP y el interfaz de *sockets*, pero sobre IPv6 o doble pila (IPv4/IPv6), en vez de sobre IPv4. El interfaz de *sockets* ha sido adaptado en sus múltiples versiones para utilizar IPv4, IPv6 o doble pila. Su uso es muy similar al que se hacía en IPv4 [17], pero incluye pequeñas diferencias que obligan a realizar nuevas versiones de las aplicaciones existentes, para poder migrar a IPv6. La migración de aplicaciones de IPv4 a IPv6 no es difícil si éstas hacen un uso adecuado del interfaz de *sockets*. Algunos lenguajes como Java, permiten incluso una migración prácticamente transparente al pasar a una versión del lenguaje que soporta IPv6, como Java 1.4.

5. Conclusiones

Internet se gestó en los años 70 en un contexto muy diferente, y desde entonces ha estado evolucionando continuamente como si fuese un organismo vivo. Si hubiese que destacar la característica más significativa de Internet, ésta es su enorme capacidad de adaptación, de innovación y, sobre todo, de reacción frente a problemas.

Durante esta evolución Internet ha desplazado a muchas otras redes de datos que han competido con ella. Entre los factores a los que Internet debe su éxito están, por supuesto, esa enorme capacidad de adaptación, pero también la gran eficacia de la arquitectura TCP/IP, tanto para desacoplar las aplicaciones de las tecnologías de red, como para facilitar el diseño de nuevas aplicaciones utilizando el interfaz de *socket*. La decisión de diseñar IP como un protocolo no orientado a conexión es otro de los aspectos decisivos, porque permite dar al nivel de transporte, y de forma eficaz, tanto el servicio orientado a conexión TCP, como el servicio de datagramas UDP. La naturaleza no orientada a conexión de IP libera al *router* de tener que controlar elementos de las aplicaciones, que con IP sólo debe conmutar paquetes en función de sus tablas de direccionamiento.

La razón de esta enorme capacidad de adaptación se debe probablemente a la estructura participativa de las organizaciones que rigen la evolución de Internet, ISOC-IETF y W3C. Ambas aglutinaron desde el momento de su creación una gran comunidad de investigadores y de usuarios, fuertemente involucrados en mejorar la red y en adaptarla a sus necesidades. La estrecha relación que investigadores y usuarios han mantenido siempre a través de la red, permitió alinear desde un principio los desarrollos de aplicaciones, con las necesidades de uso, acelerando de ese modo el despliegue y la consolidación de los servicios en la red.

La creación de una Internet de Nueva Generación hay que verla en este contexto, y es un paso más en esta evolución que todavía no sabemos donde acabará. Aunque la red esté creciendo en este momento más lentamente que en el pasado, esto no quiere decir que no esté evolucionando. Internet está sufriendo en estos momentos un proceso de transformación interna, que está sentando los cimientos tecnológicos de una nueva generación de aplicaciones, que aumentarán todavía más su importancia como gran troncal de la Sociedad de la Información.

La importancia creciente de Internet está demandando nuevas formas de acceso y nuevos terminales que faciliten y potencien su uso. Tal y como ha mostrado el enorme éxito de la telefonía móvil, parece que el PC irá cediendo su hegemonía como terminal de acceso a los nuevos dispositivos móviles, especialmente a los teléfonos móviles con acceso a Internet, que serán el motor del crecimiento de Internet en los próximos años. En una fase posterior serán los dispositivos empotrados en vehículos, electrodomésticos y otros sistemas los que con alta probabilidad tomen el relevo y pasen a ser el motor del crecimiento de la red.

La Internet de Nueva Generación debe adaptarse a estas demandas de uso futuro, tomando en consideración las lecciones aprendidas durante los últimos 20 años, que parecen indicar que el gran potencial de crecimiento e innovación de Internet, sólo podrá desarrollarse después de una renovación de su arquitectura que, según todos los indicadores, debe incluir los siguientes componentes:

- La definición por el W3C de una nueva arquitectura del *web*.
- La arquitectura de servicios multimedia de Internet definida por IETF.
- La consolidación de los paradigmas P2P y *GRID*.
- El protocolo IPv6 con direcciones en abundancia y sus nuevos servicios.
- El nuevo marco de seguridad con identidad digital para todos los usuarios.

El despliegue de la nueva arquitectura llevará tiempo, pero sentará las bases de una nueva Internet capaz de soportar otra vez décadas de crecimiento e innovación.

Hasta ahora, cada década ha consolidado a Internet en algún aspecto importante. Durante los 70, se diseñó y validó. Durante los 80, nace Internet como una red operativa y comienza su despliegue en universidades y centros de investigación. Durante los 90, Internet supera con éxito su adaptación a un uso masivo a través de proveedores comerciales, y además florecen las aplicaciones. Previsiblemente, la evolución de Internet en esta década, tienda hacia su consolidación como la troncal hegemónica de la Sociedad de la Información, a través de la que se unifique y se facilite el acceso a prácticamente todos los servicios relacionados con la información.

El potencial sin desarrollar de Internet es todavía muy grande, y probablemente la evolución de Internet, de sus aplicaciones y de sus servicios, seguirá sorprendiéndonos por su capacidad de innovación y de adaptación en las situaciones más difíciles, tal y como ha sucedido hasta ahora.

Para terminar, no podemos dejar de mencionar la importancia y la necesidad de la investigación a medio y largo plazo, para el desarrollo de tecnologías revolucionarias, frente a la tendencia actual a hacer sólo investigación aplicada orientada a corto. El largo proceso de gestación de Internet es la mejor ilustración de esta necesidad. La implantación social de Internet, que comenzó a mediados de los 90, se produjo después de más de 30 años de investigación, desarrollo y uso piloto dentro de la comunidad investigadora. Internet nunca habría sido posible sin el enorme esfuerzo investigador realizado durante esos 30 años.

6. Referencias

- [1] Castells, M. (2001). *La Galaxia Internet*. Editorial Areté, ISBN 84-01-341571.
- [2] Clarke, D. D. (1988). *The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols*. ACM Computer Communication Review, Volume 18, Number 4, August.
- [3] Berners-Lee, T., Cailliau, R., Friestyk Nielsen, H., Secret A. (1994). *The World Wide Web*. Communications of the ACM, Vol. 37, No. 8 (Aug-94), pp 76-82.
- [4] IETF (*Internet Engineering Task Force*) Web page, <<http://www.ietf.org>>.
- [5] Baran, P. (2002). *The Beginnings of Packet Switching: Some Underlying Concepts*. IEEE Communications Magazine, July, Vol. 40, No.7, pp. 42-48.
- [6] Waddington, D., Chang, F. (2002). *Realizing the Transition to IPv6*. IEEE Communications Magazine, June, Vol. 40, No.6, pp. 138-148.
- [7] Leiner, B., Cerf, V., Clark, D., Kahn, R., Kleinrock, L., Lynch, D., Postel, J., Roberts, L., Wolf, S. A *Brief History of the Internet*. Internet Society (ISOC), <<http://www.isoc.org>>, All About the Internet.

- [8] W3C (*The World Wide Web Consortium*) Web page, <<http://www.w3.org>>.
- [9] Google Web page, <<http://www.google.com>>.
- [10] Deering, S., Hinden, R. (1988). *Internet Protocol Version 6 Specification*. RFC 2460, ISOC-IETF.
- [11] *Internet Society Web page*, <<http://www.isoc.org>>.
- [12] *Yahoo Web page*, <<http://www.yahoo.com>>.
- [13] *SETI@home*, <<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>>.
- [14] *Global GRID Forum*, <<http://www.ggf.org/>>.
- [15] Parmeswaran, M., Susarla, A., Whiston, A. (2001). *P2P Networking: An Information Sharing Alternative*. IEEE Computer, Julio.
- [16] *NAPSTER*, <<http://www.napster.com/>>.
- [17] De Miguel, T., Castro, E. (2003). *Programming guidelines on transition to IPv6*. <http://www.nav6tf.org/slides/trans_ipv6_v013.pdf>, LONG Project Research Report, January.
- [18] Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O. (2001). *The Semantic Web: A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities*. Scientific American, Mayo.
- [19] *Semantic Web*. Página de coordinación del Web Semántico en el W3C, <<http://www.w3.org/2001/sw/>>.
- [20] *Web Services*. Página de coordinación de Web Services en el W3C, <<http://www.w3.org/2002/ws/>>.
- [21] Foster, I., Kesselman, C., Tuecke, S. (2001). *The Anatomy of the GRID: Enabling Scalable Virtual Organizations*. International J. Supercomputer Applications, 15(3), <<http://www.globus.org/research/papers/anatomy.pdf>>.
- [22] *GSM (Global Mobile System) World*. <<http://www.gsmworld.com>>.
- [23] *i-mode*. <<http://www.eurotechnology.com/imode/>>.
- [24] *Internet Code of Conduct*, <<http://www.isoc.org/internet/conduct/>>.
- [25] *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) Forum*. <<http://www.umts-forum.org>>.
- [26] Telefónica I+D. (2003). *Las Telecomunicaciones Multimedia*. ISBN 84-89900-31-0.

Capítulo 6

Sistemas de Identificación Biométrica

Javier I. Portillo García y Ana B. Bermejo Nieto

ETS Ingenieros de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

1. Introducción (182)
2. Áreas de aplicación (184)
3. ¿Qué nos distingue de otros? (186)
4. Los sistemas de identificación biométrica (187)
5. Tecnologías biométricas (189)
 - 5.1. La huella dactilar (189)
 - 5.2. La forma de la mano (192)
 - 5.3. Reconocimiento del iris (193)
 - 5.4. Patrones de venas de la retina (195)
 - 5.5. Reconocimiento de voz (196)
 - 5.6. Reconocimiento facial (197)
 - 5.7. Identificación por medio de la firma (199)
6. Consideraciones finales (200)
7. Direcciones web de interés (201)
8. Referencias (202)

1. Introducción

Existe una forma infalible de contraseña que asegura que sólo nosotros podamos acceder, por ejemplo, a nuestro ordenador, a nuestra casa o a nuestra cuenta bancaria. Además, la llevamos siempre con nosotros. Es nuestra huella dactilar, o nuestro iris, o nuestra voz, o incluso nuestra cara. Hoy en día existen sistemas que permiten la identificación de usuarios por las características únicas de su persona: algo que el usuario es. Esas características representan un patrón propio que no puede coincidir con el de ningún otro individuo, y que además es difícil de reproducir. El estudio de las técnicas de reconocimiento de usuarios utilizando las características corporales propias que lo distinguen de los demás es el objetivo de la *Biometría*.

La autenticación basada en características físicas existe desde siempre y, sin darnos cuenta, es la que más utiliza cualquiera de nosotros. Todos los días realizamos de forma inconsciente reconocimiento de personas por los rasgos de su cara o por su voz. En el caso de los sistemas biométricos el reconocedor es un dispositivo que, basándose en características del sujeto a identificar, permite o deniega el acceso a un determinado recurso o lugar físico.

La tecnología de los sistemas de identificación biométrica utiliza características fisiológicas que son estables en los individuos. Estas características no se limitan sólo a las huellas dactilares. Existen sistemas basados en reconocimiento de la forma de la mano, de la voz, del iris, de la retina, de la firma, etc.

Al hablar de los sistemas de este tipo, no estamos hablando de sistemas muy lejanos. Hoy en día existen portátiles que disponen de sistemas de reconocimiento de huella dactilar incorporados, como el Samsung P30, cuyo sistema de reconocimiento de huellas dactilares permite sustituir los nombres de usuario y contraseñas, o bien bloquear el disco duro para mantener la seguridad de los datos.

FIGURA 1. *Portátil con sistema de reconocimiento de huella dactilar.*



También en el ámbito de las PDA (*Personal Digital Assistant*) existen sistemas que incorporan esta tecnología. Sin ir más lejos, el modelo HP IPAQ 5450 incorpora un lector de huellas dactilares para que sólo el propietario pueda tener acceso a los datos del dispositivo. Esta tecnología también ha llegado al mundo de los teléfonos móviles. Por ejemplo, el modelo de Sagem MC 959 ID ya es capaz de reconocer huellas dactilares. Existen además dispositivos

externos que se pueden acoplar a cualquier PC y que permiten el reconocimiento de huellas dactilares, como el Rimax Scanner Doguard.

FIGURA 2. PDA con sistema de reconocimiento de huella dactilar.



Los sistemas de identificación biométrica se pueden clasificar en dos tipos fundamentales:

- Los *sistemas de reconocimiento*, cuyo objetivo es distinguir la identidad de un individuo particular de la de los demás usuarios del sistema. Es decir, en este caso, el usuario no declara quién es. Para ello deben extraerse las características biométricas del individuo y compararse con las de los demás individuos registrados en el sistema, almacenadas en una base de datos, con el fin de encontrar un patrón que coincida suficientemente con el extraído de las características biométricas del candidato. Si no se encuentra ninguno, se deniega el acceso.
- En los *sistemas de verificación*, el individuo declara su identidad y el objetivo es averiguar si es quien dice ser. Para ello deben compararse las características biométricas extraídas del individuo, con las almacenadas para ese individuo en la base de datos, y decidir si concuerdan suficientemente. Si no es así, se deniega el acceso.

El uso de la Biometría presenta numerosas ventajas sobre los sistemas de verificación más "tradicionales" basados en contraseñas o en tarjetas inteligentes. En primer lugar, dado que la propia persona es la portadora de la característica biométrica, no es necesario memorizar ninguna contraseña que se pueda olvidar, ni llevar ninguna tarjeta que se pueda perder o robar. Las características biométricas no se pueden perder, y son difíciles de robar, aunque se podrían falsificar.

Otra posible clasificación atiende al grado de participación de los usuarios a la hora de utilizar los sistemas de identificación biométrica. De acuerdo con esto, pueden ser:

- *Sistemas pasivos*. Estos sistemas no necesitan que los usuarios participen activamente en la medida. De hecho, el usuario ni siquiera tiene que saber que está siendo sometido a reconocimiento biométrico. Como ejemplos tenemos el análisis del patrón de voz, del rostro o de los gestos.

- *Sistemas activos.* En estos sistemas el usuario debe participar activamente en la medida. Por tanto, éstos son conscientes de que están siendo analizados biométricamente. El análisis de huellas dactilares, del iris, de la forma de la mano o del patrón de venas de la retina son ejemplos de este segundo tipo.

2. Áreas de aplicación

Los sistemas de identificación biométrica no son sistemas en estado de investigación. Muchas de las tecnologías que se emplean ya están lo suficientemente maduras como para ser utilizadas en dispositivos comerciales, al alcance de cualquier usuario particular, empresarial, institucional o gubernamental.

La principal área de aplicación de los sistemas de identificación biométrica es la seguridad. En particular, algunos de los sectores donde los sistemas de identificación biométrica han despertado más interés son:

- *Entidades financieras.* Lógicamente, el sector de las instituciones financieras está muy preocupado por la seguridad y por la certeza en la identificación de las personas, para evitar los problemas y las pérdidas económicas asociadas a los fraudes y a las suplantaciones de identidad. Algunos casos concretos son:
 - El Deutsche Bank de Frankfurt utiliza un sistema de reconocimiento de huellas dactilares para acceder a sus salas de servidores.
 - Bancos como el Bank of America o instituciones financieras como VISA, ya han implementado sistemas de identificación biométrica basados en el reconocimiento de la forma de la mano o del iris.
- *Comercio electrónico y banca electrónica.* Para este sector resultan de utilidad los dispositivos biométricos que aseguran la identidad del individuo, por ejemplo, cuando éste va a realizar una transacción desde su domicilio. Por tanto, su interés se orienta hacia aquellos dispositivos de reconocimiento biométrico que se pueden conectar a un PC, o que forman parte del mismo. Dado que las aplicaciones de comercio y banca electrónicos se pueden desarrollar también desde terminales como teléfonos móviles o PDA, es interesante dotar a estos dispositivos con sistemas de reconocimiento biométrico.
- *Turismo y control de inmigración.* Los sistemas de identificación biométrica se utilizan especialmente en los aeropuertos, donde la seguridad es un tema que cada vez está cobrando mayor relevancia. En particular:
 - En los aeropuertos de San Francisco y Nueva York o en el israelí de Tel Aviv emplean sistemas que reconocen la geometría de la mano de sus empleados, y en las líneas Brithish Airways y Virgin Atlantic se ha llevado a cabo un experimento con 2.000 pasajeros, basado en el reconocimiento del iris. El aeropuerto de Schipol (Holanda) utiliza también desde el

mes de noviembre de 2001, un sistema de reconocimiento del iris de pasajeros, basado en una tarjeta inteligente que contiene cifrado el patrón del iris del usuario.

- Hace poco que ha aparecido la noticia de que Estados Unidos va a utilizar la tecnología biométrica para examinar los rostros y huellas dactilares de las personas que entren en ese país. Se trata de un proyecto que tiene previsto instalar, en sus fronteras con Méjico y Canadá, para finales de 2005, detectores biométricos para examinar la identidad de las personas que accedan al país. La intención además es ir más allá, y comenzar a entregar posteriormente visas y pasaportes que incluyan tecnología biométrica.
- Recientemente se ha hablado sobre el nuevo sistema de control de la inmigración basado en el reconocimiento de la huella dactilar que se está utilizando en Melilla.

Asimismo, existe un número cada vez mayor de empresas que ofrecen soluciones biométricas. Baste decir, que si llevamos nuestro navegador a la dirección de Internet <http://dmoz.org/Computers/Security/Biometrics/Companies> obtendremos una amplia lista de empresas, nacionales y extranjeras, que se dedican al negocio de la Biometría. Algunas de los casos más relevantes son:

- La empresa española Intuate Biometrics (www.intuate.com) ofrece soluciones de acceso basadas en controles biométricos. Ofrece también sistemas biométricos de control de acceso a PCs.
- La empresa Jantek Electronics (www.jantek.com) dispone de un sistema de control de acceso basado en la lectura completa de la mano del usuario. Es decir, la identificación personal se produce mediante el patrón completo de la mano del usuario, que es único.
- La empresa LG (www.lge.com) dispone de un producto (*Iris Access 3000*) para reconocimiento del iris.
- La empresa japonesa Panasonic (www.panasonic.com) dispone también de soluciones completas para reconocimiento del iris: BM-ET300, BM-ET500 y Authenticam. La foto que sigue muestra el BM-ET500.

FIGURA 3. *Sistema de reconocimiento de Iris de Panasonic.*



En conjunto, el International Biometric Group prevé un crecimiento de los ingresos derivados de la biometría de un 30% de media anual del 2002 al 2005 llegando a una cifra de 1,9 billones de dólares.

Adicionalmente, ya en los temas planteados en el V Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la UE (1999-2002), la Biometría fue el objetivo de algunos proyectos:

- Introducción de la Biometría en aplicaciones de banca y de teletrabajo.
- Combinación de Biometría y firmas digitales para seguridad en aplicaciones de comercio electrónico.
- Voto electrónico utilizando tarjetas biométricas.
- El desarrollo de nuevos métodos de reconocimiento facial para control de acceso y registro para sistemas sanitarios.

Se observa por tanto, que la Biometría es una tecnología que está presente cada vez más en nuestras vidas.

3. ¿Qué nos distingue de otros?

Los sistemas de identificación biométrica son un tipo de sistemas de identificación de usuario. En términos generales, los sistemas de identificación de usuario se basan fundamentalmente en tres tipos de elementos, denominados los tres pilares de la autenticación:

- Algo que el usuario *sabe*: una contraseña.
- Algo que el usuario *posee*: una llave, una tarjeta.
- Algo que el usuario *es*: una característica corporal del mismo.

Estos elementos se pueden utilizar de forma aislada o de forma combinada. En el caso de los sistemas biométricos, la identificación se realiza a través del tercer elemento. Este tipo de identificación proporciona la ventaja de que, al considerar una característica intrínseca al usuario, éste siempre la lleva consigo (se puede olvidar una tarjeta o una contraseña, pero no se puede olvidar de su huella dactilar, ni del timbre de su voz). Además, las posibilidades de falsificación se dificultan considerablemente.

Para que una característica biométrica resulte de utilidad debe cumplir algunas propiedades esenciales:

- Debe permanecer constante en el tiempo para un mismo individuo.
- Debe ser distinta para individuos distintos.
- Debe ser accesible y sencilla de obtener, y la verificación debe realizarse con rapidez. Por ejemplo, una muestra de ADN es perfectamente característica de los individuos, y cumple las

dos condiciones anteriores, pero evidentemente la extracción de muestras de ADN y su posterior análisis no cumplen esta tercera condición.

Teniendo en cuenta tales propiedades, las características corporales que utilizan los sistemas de identificación biométrica son principalmente:

- Huellas dactilares.
- Patrón de las venas de la retina.
- Patrón del iris.
- Venas del dorso de la mano.
- Geometría de la mano.
- Rostro.
- Análisis de gestos.
- Patrón de voz.
- Firma manuscrita.

4. Los sistemas de identificación biométrica

De forma general, los sistemas biométricos están formados por tres componentes:

- *Sistema de captura.* Adquiere las características (imágenes o sonidos) a analizar.
- *Sistema de proceso.* Analiza las imágenes o sonidos y extrae una serie de características, generalmente numéricas, que serán los patrones característicos de cada individuo.
- *Sistema de clasificación.* Compara las características extraídas por el sistema de proceso con las almacenadas en la base de datos del sistema. Si la comparación es positiva (las características extraídas y las almacenadas se parecen suficientemente), se autoriza el acceso.

Uno de los factores que más preocupa a los diseñadores y los usuarios de los sistemas de identificación biométrica, es el *tipo de errores* que se derivan de su utilización. Estos sistemas se implantan en aplicaciones de seguridad, con objeto de proteger el acceso a espacios, recursos o sistemas, por lo que resulta muy importante considerar la tasa y el tipo de fallos. Éstos pueden ser:

- *Falso rechazo.* Se produce cuando el sistema rechaza a un usuario autorizado. Se cuantifica mediante la probabilidad (o tanto por ciento) de falsos rechazos. Es un error molesto para los usuarios legítimos, pero no crítico para la seguridad. Sin embargo, es importante desde el punto de vista de la aceptación que el sistema tendrá en los usuarios. Si un usuario legítimo se ve rechazado muchas veces, su confianza en el sistema disminuirá y sus quejas sobre el mismo aumentarán.
- *Falsa aceptación.* Se produce cuando el sistema acepta a un usuario no autorizado, y le facilita el acceso. Se cuantifica mediante la probabilidad (o tanto por ciento) de falsas aceptaciones. Es un error crítico tanto para la aceptación del sistema como para la seguridad. Debe minimizarse en la medida de lo posible.

Lo ideal sería que los dos tipos de errores fueran cero, lo cual, lógicamente, no se puede conseguir. De hecho, suele existir un compromiso entre los dos tipos de error. Por ejemplo, si en un sistema se relaja el criterio de coincidencia para disminuir la probabilidad de falso rechazo, es probable que ese relajamiento produzca un aumento de la probabilidad de falsas aceptaciones.

Pero para que un sistema biométrico sea adecuado, no sólo es necesario que proporcione unos buenos resultados de identificación, es decir, una baja tasa de falsos rechazos y falsas aceptaciones, sino también que sea aceptado por los usuarios que lo van a utilizar, esto es, que sea sencillo de utilizar y poco invasivo.

En resumen, existen una serie de consideraciones que es conveniente examinar a la hora de estudiar los sistemas de análisis biométrico. Son las siguientes:

- *Facilidad de uso.* Está claro que si la tecnología en la que se basa el sistema de análisis biométrico no es fácil de utilizar, los usuarios la rechazarán y el sistema fracasará. Esto implica, entre otras cosas, que el sistema sea ergonómico, que la tasa de falsos rechazos sea moderada, y que el software y su interfaz con el usuario sea usable.
- *Posibilidades de despliegue.* Lógicamente, el sistema debe requerir una instalación que sea abordable, lo que implica tener en cuenta factores como el tamaño de los dispositivos de adquisición de datos biométricos y de los dispositivos procesadores (si éstos están separados de aquéllos), la influencia de las condiciones ambientales (ventilación, humedad, temperatura, etc.), y los requisitos de infraestructura (alimentación, conectividad a red, conectividad a los sistemas procesadores, etc...).
- *Coste.* Obviamente, se trata de un factor fundamental. Hay que tener en cuenta los costes propios del dispositivo, los costes de instalación y despliegue, y los costes de mantenimiento y de las actualizaciones de hardware y software.
- *Aceptación de los usuarios.* Ningún dispositivo de análisis biométrico pasará operativo más de un tiempo breve, si no es aceptado por los usuarios que deben ser analizados. Resulta por tanto fundamental que el sistema sea fácil de utilizar (aspecto de facilidad de uso comentado anteriormente), que el proceso de toma de datos sea lo menos invasivo y molesto posible, y que el tiempo empleado en todo el proceso sea lo más breve posible.

El aspecto de la invasividad merece ser considerado con algo más de detalle. Hay dos aspectos bajo los que considerar la invasividad del sistema biométrico. Un aspecto es el propio carácter de la tecnología: un micrófono utilizado para captar la voz de un usuario en un sistema de análisis de voz, es menos invasivo que un sistema que debe examinar el fondo del ojo para extraer el patrón de venas de la retina. Otro aspecto que influye en la sensación de invasividad es el grado de participación de los usuarios, que hemos comentado anteriormente. Los sistemas pasivos tienden a ser considerados menos invasivos que los activos.

También influye en la aceptación de los usuarios el tiempo que éstos necesitan para habituarse al sistema, o la cantidad de tiempo que requieren para entrenarlo, y la dificultad del entrenamiento.

5. Tecnologías biométricas

En esta sección vamos a explicar brevemente algunas de las tecnologías de análisis biométrico que pueden considerarse lo suficientemente maduras como para que existan dispositivos comerciales.

5.1 La huella dactilar

Es una de las tecnologías más asequibles, y si a eso añadimos que la probabilidad de igualdad de dos huellas dactilares de personas distintas es extremadamente baja, se entiende que sea una de las más empleadas. De hecho, la probabilidad de que dos personas tengan la misma huella dactilar es inferior a uno entre mil millones.

Se trata de uno de los procedimientos más antiguos que existen, y ya era empleado por los chinos en el siglo II a.C. para identificar la autenticidad de los remitentes de un documento mediante su huella dactilar impresa sobre cera. Actualmente, constituye uno de los procedimientos de identificación policial más populares. El sistema de clasificación de huellas que se utiliza actualmente se basa en los trabajos de Sir Edward Henry, y su libro *Classification and Use of Fingerprints*, que data del año 1900.

El funcionamiento básico de un sistema de identificación de huellas dactilares es el siguiente: el usuario pone su dedo sobre un sensor, que captura una imagen de la huella. De dicha imagen se buscan y extraen las características, que son de dos tipos: patrones y minucias.

Los patrones hacen referencia a la posición de las líneas y valles, y pueden ser percibidos a simple vista por el ojo humano, mientras que las minucias se refieren a la aparición de singularidades en las líneas, como puntos de bifurcación, cercado, unión, terminación, etc., y son más difíciles de ver y de localizar. Dos dedos diferentes nunca pueden poseer más de ocho minucias iguales, y cada uno tiene más de 30 ó 40 minucias.

FIGURA 4. *Tres tipos de patrones de líneas de una huella dactilar. A la izquierda, arcos, en el centro bucles y a la derecha, volutas o círculos.*

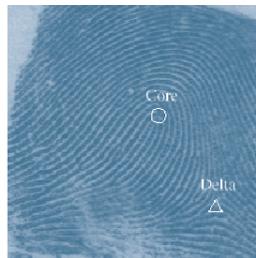


El patrón de líneas que forma la huella hacia su centro, como muestra la [figura 4](#), se divide fundamentalmente en tres tipos:

- *Arcos*. Se producen cuando las líneas comienzan en un lado del dedo para pasar por el centro y finalizar en el otro lado del dedo. Esta característica aparece en el 5% de las personas.
- *Bucles*. Se producen cuando una línea comienza desde un lado del dedo, llega al centro del mismo y luego vuelve al mismo lado del dedo. Esta característica aparece en el 65% de las personas.
- *Volutas o círculos*. Son líneas cerradas en el centro del dedo. Aparecen en el 35% de las personas.

Asociados a las características anteriores aparecen otras como son el núcleo, el punto delta, las líneas tipo, la cuenta de líneas, etc.

FIGURA 5. *Núcleo (core) y punto delta de una huella dactilar.*



Las minucias, como hemos comentado, no se aprecian a simple vista, pero pueden ser capturadas por los modernos escáneres de huellas. Los aspectos característicos de las minucias son:

- *Tipo*. Hace referencia a detalles de las líneas. Los más comunes son:
 - Terminación de línea.
 - Bifurcación de línea.
 - Divergencia de líneas.
 - Punto o isla.
 - Laguna.
 - Línea corta.
 - Aguijón.
 - Cruce.
- *Orientación*. Este parámetro hace referencia a la orientación que toma la minucia.
- *Frecuencia espacial*. Hace referencia a la densidad de líneas que aparecen alrededor de una determinada minucia.
- *Posición*. Es la situación relativa de la minucia.

Los detalles relativos a las líneas (curvatura, separación, etc.), así como la posición absoluta y relativa de las minucias extraídas, son procesados mediante algoritmos que permiten componer un índice numérico correspondiente a cada huella. Este índice numérico de la huella se guarda en la base de datos del programa, en una tarjeta o en otro tipo de soporte. Es imposible reconstruir la huella a partir del índice registrado en el fichero, ya que no se guarda la propia imagen de la huella, sino que la información guardada es información numérica (los patrones extraídos).

Cuando el usuario solicita acceso al sistema, pone su dedo sobre el lector, y su huella dactilar es digitalizada y analizada a fin de extraer los elementos característicos y, tras el análisis de las líneas y las minucias, se compara el nuevo índice obtenido con el anteriormente almacenado.

Se trata de un tipo de sistema muy fiable. Las tasas de falso rechazo se sitúan por debajo del 1%, y las de falsa aceptación están alrededor del 0.0001%. Las velocidades de proceso e identificación están por debajo del segundo en los sistemas actuales.

No obstante, como todo sistema de identificación, está sometido a la posibilidad de falsificación. Los tipos de falsificación en este tipo de sistema de análisis biométrico se pueden clasificar en:

- *Falsificación de dedo.* Valga como ejemplo esta noticia, con fecha 23-06-2002, extraída de la web www.delitosinformaticos.com:

"Un matemático japonés (no un ingeniero, un programador o un experto en falsificaciones, sino un matemático) ha conseguido engañar once lectores de huellas digitales invirtiendo menos de diez dólares en material de fácil obtención.

Tsutomu Matsumoto duplicó una huella digital resaltando su impresión sobre cristal (por ejemplo, un vaso o una ventana) mediante adhesivo de cianoacrilato (comercialmente distribuido con marcas tan conocidas como "Super Glue") y fotografiando el resultado mediante una cámara digital. La imagen resultante se mejoró mediante *PhotoShop* y se imprimió en una hoja de papel transparente.

Matsumoto utilizó dicho papel como máscara para generar un circuito impreso con la imagen de la huella digital (para proporcionar "relieve"). Dicho circuito impreso, el material para el fijado y revelado y las instrucciones detalladas del proceso, se pueden conseguir en cualquier tienda de electrónica por menos de 3 euros.

Seguidamente se obtuvo un dedo de "gelatina" empleando el circuito impreso para proporcionarle el relieve que emula la huella digital original.

En total, menos de 10 dólares en gastos y una hora de trabajo. El resultado: un "dedo" que pasa la prueba de un escáner digital con una efectividad del 80%."

Fuente: www.delitosinformaticos.com

- *Ataque al canal de comunicaciones.* Si el sistema de análisis de huellas necesita comunicarse vía red con una base de datos remota, esa comunicación puede ser interceptada y alterada.
- *Alteración de la base de datos.* Si la base de datos con las huellas dactilares resulta comprometida, pueden sustituirse los patrones verdaderos por patrones falsos, correspondientes a personas no autorizadas que serían reconocidas positivamente.

La identificación de huellas dactilares es una tecnología muy fiable, robusta y con un alto grado de madurez. Da lugar a un amplio conjunto de sistemas comerciales muy extendidos y

asequibles. Sin pretender ser exhaustivos, nombraremos algunos de los fabricantes de sistemas de reconocimiento de huellas dactilares:

- Idex (www.idex.no).
- International Biometric Group (www.biometricgroup.com).
- Applied Biometrics (www.appliedbiometrics.net).
- Neurodynamics (www.neurodynamics.com).
- Dermalog (www.dermalog.de).
- Polaroid (www.polaroid-id.com).
- Bogotech (www.securitybiometrics.com).
- Biolink (www.biolinkusa.com).
- Authentec Inc. (www.authentec.com).
- Bioscrypt (www.mytec.com).
- digitalPersona (www.digitalpersona.com)
- Identix (www.identix.com).
- NEC (www.nec.com).
- Saflink Corporation (www.saflink.com).
- Siemens (www.siemens.com).
- Sony (www.sony.com).

5.2 La forma de la mano

Estos sistemas obtienen una imagen del perfil de la mano completa, de dos dedos o de un solo dedo, bien con una cámara convencional o con una cámara infrarroja. En un sistema típico, el usuario coloca la mano sobre un lector en el que hay unas guías o topes para facilitar el posicionamiento correcto. Una cámara toma una imagen frontal, y otra captura una imagen lateral. Una vez tomadas las imágenes, se extraen una serie de características de la mano y los dedos, como pueden ser longitudes, anchuras, alturas, posiciones relativas de dedos, articulaciones, disposición de venas, etc. Los sistemas empleados hoy en día toman unas 90 mediciones. Esas características se transforman en una serie de patrones numéricos, que luego se comparan con los patrones previamente almacenados.

FIGURA 6. *Diversas formas de manos.*

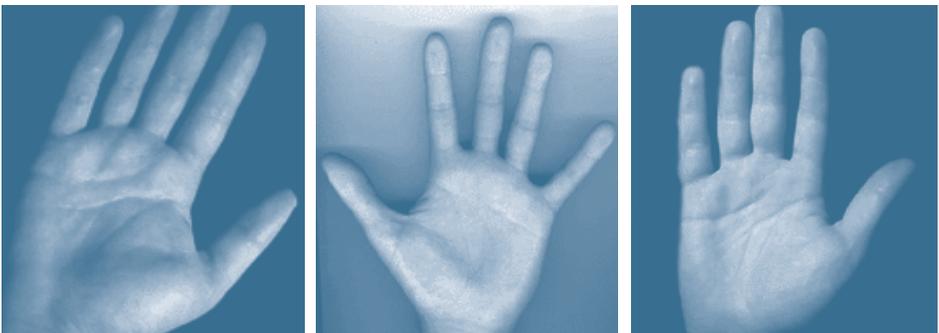
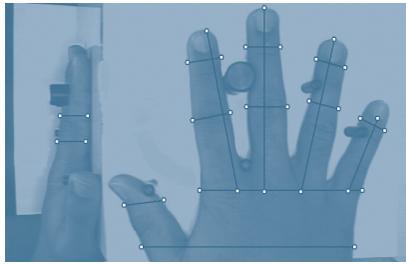


FIGURA 7. Geometría de la mano y algunos puntos característicos.



Fuente: <http://es.tldp.org/Manuales-LuCAS/doc-unixsec/unixsec-html/node120.html>.

Debido a que la forma de la mano se puede ir alterando con el paso del tiempo, con el aumento o la disminución de peso o con la presencia de heridas, cicatrices, etc., una característica importante que deben poseer estos sistemas es la capacidad de aprendizaje. Es necesario que los patrones se vayan actualizando, considerando los pequeños cambios que se pueden producir en la forma de la mano en intervalos de tiempo cortos. Mientras dicho usuario haya ido accediendo al sistema de forma regular y actualizando sus patrones, acumulativamente no se debe denegar el paso a un usuario, aunque en un período de tiempo largo la forma de su mano se haya alterado de forma más notable. Los sistemas comerciales presentan tasas típicas de falso rechazo en torno al 0.1% y de falsa aceptación en torno al 1%.

Uno de los primeros usos de este sistema fue en los juegos olímpicos de 1996. También se está empezando a utilizar como alternativa al número de identificación personal en operaciones con tarjetas de crédito.

Una variante de esta tecnología toma una imagen de la palma de la mano, y sus líneas y detalles se analizan con procedimientos semejantes a los sistemas de identificación de huellas dactilares.

Algunos fabricantes de sistemas de este tipo son:

- Almex Ltd. (www.almexltd.com).
- BioMet Partners Inc. (www.biomet.ch).
- Dermalog (www.dermalog.de).
- Jaypeetex (www.jaypeetex.com).
- Neuscience (www.neuscience.com).
- Recognition Systems (www.recogsys.com).
- Kronos (www.kronos.com).
- Security and Safety (www.irsecurityandsafety.com).

5.3 Reconocimiento del iris

El iris es la franja de tejido coloreado que rodea nuestra pupila. Se encuentra situado entre la córnea y el humor acuoso. Aunque lo que más resalta es su color, un estudio cercano del mismo muestra un conjunto de rasgos característicos, como estrías, anillos, surcos, texturas, etc. En el

iris hay más de 400 características distintivas, o grados de libertad, que pueden ser cuantificadas y usadas para identificar a un individuo. En la práctica, se usan aproximadamente 260 de estas características. Este patrón se forma durante el desarrollo fetal, se completa a los ocho meses y es diferente de un individuo a otro, pero en un mismo individuo no cambia con el tiempo. Es decir, es una característica tan distintiva de las personas como lo puede ser la huella dactilar, ya que los rasgos del iris son diferentes incluso en gemelos univitelinos.

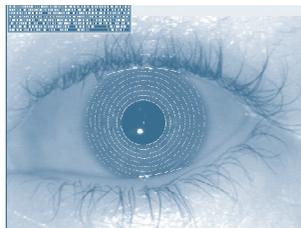
La tecnología de reconocimiento del iris data de 1994, y procede de los trabajos iniciales de Daughman, y los de Wildes.

Inicialmente, una cámara de reconocimiento de iris toma una fotografía del mismo. El sistema adquiere una imagen del iris y transforma las características anteriormente mencionadas en patrones numéricos, denominados *iriscodes*, que se contrastan con los previamente almacenados. Las cámaras cumplen los estándares internacionales de iluminación segura, y utilizan un método de iluminación de longitud de onda cercana al infrarrojo que es escasamente visible y muy seguro. La imagen del ojo es en primer lugar procesada por un programa que localiza el iris. Posteriormente otro programa codifica los patrones del ojo, creando un código para la secuencia de texturas y rasgos característicos del iris, que es el que se compara con los patrones almacenados. Un *iriscode* de referencia ocupa alrededor de 256 a 512 bytes.

FIGURA 8. *Diversos iris.*



FIGURA 9. *Iris con una muestra del patrón (iriscode) extraído.*



Fuente: <http://es.tldp.org/Manuales-LuCAS/doc-unixsec/unixsec-html/node119.html>.

Se trata de un sistema muy fiable, existiendo equipos como el sistema 2000EAC de Iriscan, de Iridian Technologies (www.iriscan.com), uno de los principales fabricantes de estos equipos y que posee la patente sobre esta tecnología. Presenta una tasa de falso rechazo del 0.00066%, y una tasa de falsa aceptación de 0.00078%, con un tiempo de verificación de unos 2 segundos. Otras empresas que disponen también de sistemas de reconocimiento de iris son LG (www.lge.com), y Panasonic (www.panasonic.com).

Los ataques a esta tecnología pueden ser los siguientes:

- *Suplantación del iris.* En algún caso se ha conseguido engañar al sistema de identificación imprimiendo una imagen digital de alta resolución del iris. Esta imagen se coloca delante del verdadero iris. En todo caso, los sistemas actuales realizan una comprobación de infrarrojo, con lo que el iris que se les presenta debe ser de una persona real, lo que dificulta considerablemente este tipo de ataque.
- *Ataque a las comunicaciones.* Ya comentado anteriormente.
- *Ataque a la base de datos de patrones.* También comentado anteriormente.

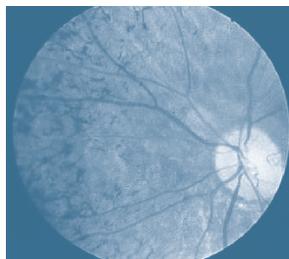
5.4 Patrones de venas de la retina

En esta técnica se examina el fondo del ojo y se detectan los patrones de venas que se extienden por la retina. Son también característicos y estables en cada individuo, y permiten diferenciar unos individuos de otros.

En los sistemas biométricos basados en patrones de vasos de la retina, el usuario mira a través de unos binoculares, realiza algunos ajustes, mira a un punto determinado y por último pulsa un botón. El sistema toma una imagen de la retina, detectando la estructura de vasos sanguíneos de la retina y transformándola en una serie de características numéricas para compararlas con las almacenadas.

El barrido de la retina se realiza mediante un haz infrarrojo de baja intensidad que se proyecta a través de la parte de atrás del ojo en la retina. Las arterias y venas de la retina absorben la luz infrarroja más rápido que el tejido que las rodea. Esta luz es reflejada por la retina de vuelta en la cámara. Se captura este patrón retinal y se transforma en un código de unas decenas de bytes de longitud.

FIGURA 10. *Patrón de venas de la retina.*



Uno de los inconvenientes de esta técnica es que el individuo la siente como más invasiva (debe iluminarse con luz el fondo del ojo), lo cual puede acentuar el rechazo por parte de los usuarios.

Se trata de un sistema bastante fiable. La probabilidad de falso rechazo está en torno al 1%, y la de falsa aceptación por debajo del 0,001%.

La compañía Eyelidentify (www.eyelidentify.com) posee la patente para este tipo de sistemas, y es la principal desarrolladora de esta tecnología.

5.5 Reconocimiento de voz

En esta tecnología se adquiere la voz del usuario utilizando un micrófono, y seguidamente se analiza mediante un ordenador. Se buscan principalmente patrones de intensidad y frecuencia.

Existen varios tipos:

- De *texto fijo*, en los que el entrenamiento y el reconocimiento se basan en una sola palabra o frase. Los algoritmos en este caso son más sencillos, y pueden basarse únicamente en la comparación de formas de onda.
- De *vocabulario fijo*. En este caso el entrenamiento y el reconocimiento se basan en un conjunto limitado de palabras o frases. En la fase de entrenamiento, el usuario repite al sistema todas las palabras del conjunto, y el sistema extrae los parámetros característicos de las palabras o frases correspondientes a ese usuario. En la fase de reconocimiento, el sistema propone al usuario un subconjunto aleatorio de las palabras o frases para que las repita, y el sistema las compara con sus patrones almacenados.
- De *vocabulario flexible*. En este tipo de sistemas el usuario puede utilizar para su reconocimiento un conjunto de palabras elegidas por él, pertenecientes a un vocabulario preestablecido. En la fase de entrenamiento, el usuario debe utilizar una serie de palabras de dicho vocabulario que cubran todas las alternativas posibles de fonemas y de relaciones entre fonemas.
- De *texto independiente*. Los sistemas no están atados a vocabularios fijos, ni a entrenamiento con palabras fijas. Este tipo de sistemas ofrece una tasa de errores mayor, siendo más recomendables para objetivos de seguridad los tres anteriores.

Se trata de un sistema poco costoso de implementar, por lo que se encuentra muy extendido. Sin embargo, uno de los problemas que frenan su difusión es que se trata de una tecnología todavía propensa a errores. La probabilidad de falso rechazo está en torno al 3%, y la de falsa aceptación en valores algo superiores al 1%. Podemos citar algunas de sus aplicaciones concretas:

- La empresa General Motors utiliza estos sistemas para el acceso a sus centros de cómputo.
- El hospital de Chicago lo utiliza para el acceso a la sala de recién nacidos.
- El control de inmigraciones en la frontera de EEUU y México utiliza este sistema para el reconocimiento de pasajeros frecuentes.
- Se utiliza en aplicaciones de seguridad telefónica.

Los ataques a esta tecnología pueden ser los siguientes:

- *Sustitución de la voz*. Se trata de utilizar la voz grabada de un usuario autorizado para engañar al sistema. Lógicamente, este tipo de ataque es más sencillo de realizar en los sistemas

de texto fijo, puesto que al ser el texto limitado, se hace más susceptible a la falsificación. En los otros sistemas, al disponer de un vocabulario más amplio o donde el sistema puede elegir para solicitar al usuario, el éxito de este tipo de ataques es más difícil.

- *Ataque a las comunicaciones.* Ya comentado anteriormente.
- *Ataque a la base de datos de patrones.* También comentado anteriormente.

Algunos fabricantes de sistemas de este tipo son:

- Nuance (www.nuance.com).
- BioID (www.bioid.com).
- Bionetrix (www.bionetrix.com).
- Patni (www.patni.com).
- Sonetech Corporation (www.sonetechcorp.com).
- Voice Security Systems (www.voice-security.com).
- T-Netix (www.t-netix.com).

5.6 Reconocimiento facial

Se trata de un sistema de desarrollo relativamente reciente. Se toma una imagen de la cara de una persona (a veces se pueden tomar varias, de frente y de perfil), y se analizan las imágenes para extraer determinados parámetros, como la forma general de la cara, curvaturas, situación absoluta y relativa de ojos, nariz y boca, marcas notables, etc. Esos parámetros se comparan con los almacenados en una base de fotografías o imágenes de usuarios autorizados.

Las características o elementos a detectar en la cara se dividen en macroelementos y microelementos. Los macroelementos son los ojos, la boca, la nariz, los pómulos, etc. Los microelementos son distancias entre los macroelementos, medidas de los mismos, etc.

Existe una variante de este sistema, conocida como termografía facial, que adquiere una imagen térmica de la cara de la persona mediante una cámara de infrarrojo, extrayendo características biométricas de dicha imagen.

FIGURA 11. *Termografía facial.*



Una vez que la imagen de la cara ha sido digitalizada, existen diversos tipos de algoritmos que se pueden emplear para la identificación. Algunos de ellos son:

- *Eigenfaces*. Es un algoritmo patentado por el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Se extrae la *eigenface* a partir de una imagen de la cara en niveles de gris, que se transforma en una serie de autovectores que conservan la información de las características geométricas de la cara.

FIGURA 12. *Eigenfaces estándar*.



Fuente: <http://vismod.media.mit.edu/vismod/demos/facerec/basic.html>.

- *Análisis de características locales*. Este método utiliza los macroelementos de la cara y localiza puntos singulares en dichos macroelementos. Esos puntos singulares se unen formando triángulos, en los que se miden sus características angulares. Esas características forman un vector numérico que es el que se compara con el patrón para el reconocimiento. Un inconveniente de este algoritmo es su sensibilidad a las variaciones de iluminación en la toma de datos de la cara, que pueden causar diferencias importantes en la extracción de los puntos singulares.

FIGURA 13. *Análisis de características locales*.



- *Redes neuronales*. Las redes neuronales son estructuras computacionales muy eficaces en problemas de reconocimiento de patrones. La red se entrena presentándole una serie de imágenes con las caras que deben reconocerse. Una vez entrenada, se presenta una imagen de una cara a la red neuronal, que es capaz de clasificarla.

Actualmente existen sistemas operativos en el mercado, que aseguran una probabilidad de reconocimiento correcto de aproximadamente el 90%. Y también hay propuestas de mejora, como la de la empresa japonesa Hitachi (www.hitachi.com), que en asociación con la empresa Glory (www.glory.co.jp), fabricante de máquinas manipuladoras de dinero, ha anunciado un

nuevo sistema de reconocimiento de caras humanas que puede alcanzar una precisión del 99%. Según un portavoz de Glory, "Las características de la cara, como una nariz grande o las cejas marcadas, no cambian fácilmente con el envejecimiento... el sistema registra y lee las características únicas de una cara, usando una tecnología similar a la del reconocimiento de billetes y monedas". El sistema funciona comparando la imagen de la cara con fotos almacenadas, y, según ha anunciado Hitachi, estará disponible comercialmente en Japón en el año 2005.

Este tipo de sistemas de análisis biométrico también puede ser comprometido. Las formas más habituales son:

- *Suplantación de la cara.* Puede hacerse tomando fotos o video de una persona autorizada y (tras un procesamiento de imagen, si procede) utilizando la imagen como suplantación.
- *Ataque al sistema de comunicaciones.* Ya comentado anteriormente.
- *Ataque a la base de datos.* También comentado anteriormente.

En general son sistemas que adolecen de una cierta falta de robustez, en el sentido de que es necesario que las condiciones de iluminación en la adquisición de la cara estén controladas, y que la persona no esté en movimiento. Algunas empresas que comercializan productos de reconocimiento facial son:

- Biometric Access Corporation (www.biometricaccess.com).
- BioID (www.bioid.com).
- Neurodynamics (www.neurodynamics.com).
- Viisage (www.viisage.com).
- VisionSphere Technologies (www.visionspheretech.com).

5.7 Identificación por medio de la firma

Realmente la firma de usuario no es una característica biométrica, pero es habitual incluirla en el análisis de sistemas de identificación biométrica, por lo que la consideraremos también brevemente en esta revisión.

Los sistemas de análisis de firmas llevan a cabo la identificación de dos formas: mediante las características específicas propias de la firma y mediante las características específicas del proceso para realizar la firma. Es decir, se consideran aspectos como la velocidad, el tiempo que dura el proceso de firma, la presión del elemento de escritura, las direcciones, longitudes de trazos y puntos en los cuales el elemento de escritura se separa del papel. Por eso estos sistemas se denominan *Dynamic Signature Verification (DSV)*.

Actualmente existen más de cien patentes referidas a la identificación de la firma. A continuación reseñamos algunas empresas que ofrecen productos de reconocimiento de firma:

- Cyber-SIGN (<http://cybersign.com>).
- Penop (www.penop.com).

6. Consideraciones finales

Hasta ahora, hemos comentado las características biométricas susceptibles de ser utilizadas en un sistema de reconocimiento, y hemos descrito brevemente algunas de las tecnologías. Pero, para que estos sistemas se implanten y se utilicen de forma regular, es necesario que cuenten con la confianza de los usuarios. Ello implica que el sistema debe considerar, entre otras cosas, aspectos como:

- **Probabilidad de fallos** (falsos rechazos y falsas aceptaciones). Ya hemos hablado de cifras al considerar las tecnologías anteriormente expuestas.
- Posibilidad de **engañar al sistema**, obteniendo autorización mediante la sustitución de una identidad verdadera, es decir, suplantando una característica biométrica.
- **Estabilidad** o robustez del sistema frente a cambios (normales) en la característica biométrica que mide. Nos referimos, por ejemplo, a cambios en el timbre de voz por un catarro, o a cambios en las características de las manos o de la cara debidas a heridas, aumento o disminución de peso, etc.
- **Comodidad** y facilidad de uso del sistema por parte de los usuarios.
- **Invasividad**, aspecto ya comentado anteriormente.
- **Confianza** de los usuarios en que sus **datos biométricos no serán accesibles** por terceros.

La tabla que sigue resume de una forma cualitativa los parámetros que pueden resultar de interés en la aceptación, implantación y uso de los sistemas biométricos.

T1. PARÁMETROS DE INTERÉS EN SISTEMAS BIOMÉTRICOS

	Huellas Dactilares	Mano	Iris	Retina	Cara	Voz
Fiabilidad	+++	+++	++++	++++	+++	+++
Seguridad	+++	+++	++++	++++	+++	++
Estabilidad	+++	++	+++	+++	++	++
Comodidad	+++	+++	++	+	+++	+++
Confianza	++	+++	++	++	++	+++

Fuente: Revista IT Pro, enero-febrero 2001.

El último punto mencionado, merece un comentario especial. En los sistemas de identificación biométrica no se almacenan las características biométricas de los usuarios directamente. Es decir, no se almacena directamente su huella dactilar, o una imagen de su iris, sino que se almacenan las características numéricas necesarias para realizar la identificación (los patrones extraídos), que se obtienen tras procesar las características biométricas directas. Por ejemplo, de una huella dactilar se almacena una serie de números que tienen que ver con la forma de los patrones, la posición absoluta y relativa de las minucias, códigos con el tipo de minucia, etc.

Resulta por tanto imposible reconstruir, con sólo esa información numérica, la huella dactilar original. Adicionalmente, cabe la posibilidad incluso de cifrar esa información numérica.

En cuanto a la seguridad, y a la posibilidad de "engañar" al sistema, ya hemos hablado de ello en algunas de las tecnologías consideradas anteriormente. Hoy en día los sistemas biométricos (exceptuando quizá algunos modelos de reconocimiento de voz) son robustos frente a los ataques basados en suplantación (por ejemplo, utilizando partes del cuerpo amputadas al usuario legítimo). La mayor parte de los analizadores de huellas dactilares, de iris, de retina o de la geometría de la mano, son capaces, además de decidir si la característica biométrica es de un usuario autorizado, de discriminar si éste está vivo, por ejemplo, mediante análisis de infrarrojo.

Finalmente, es interesante comentar que existen diversos esfuerzos encaminados a crear estándares para sistemas biométricos. Por ejemplo, el consorcio BioAPI (www.bioapi.org) tiene como objetivo la promoción de la integración de aplicaciones para diversos sistemas biométricos. Este consorcio está formado por 90 organizaciones cuyo objetivo es promover el crecimiento de las tecnologías biométricas y desarrollar una *Application Program Interface* (API) que sea de amplio uso en la industria. El objetivo de esta API es definir la forma en que una aplicación software interactúa con un dispositivo de verificación biométrica, de forma que la comunicación entre esos elementos sea independiente del sistema operativo, de las aplicaciones propietarias y de la tecnología biométrica empleada.

El *National Institute of Science and Technology* (NIST) (www.nist.gov) es una agencia no reguladora dependiente del Departamento de Gobierno de EEUU. Entre sus objetivos está el promover y desarrollar estándares y tecnología para mejorar la productividad, facilitar los intercambios comerciales y mejorar la calidad de vida. Esta agencia está promoviendo el estándar *Common Biometric Exchange File Format* (CBEFF), cuyo objetivo es regular el intercambio de información entre dispositivos biométricos.

El *International Committee for Information Technology Standards* (INCITS) M1 - *Biometrics Technical Committee*, (www.ncits.org/tc_home/m1.htm), realiza también actividades de estandarización en sistemas de información biométrica.

Adicionalmente, en febrero de 2001, ANSI aprobó X9.84-2000, *Biometrics Management and Security for the Financial Services Industry*. Este estándar se puede obtener en la dirección web: www.ansi.org.

7. Direcciones web de interés

Además de las direcciones web que han ido apareciendo durante el desarrollo del capítulo, incluimos a continuación algunas direcciones de interés relacionadas con la biometría:

- www.iata.csic.es/IBSREsp
- www.enar.org
- www.stat.uga.edu/%7Elynne/symposium/biometric.html
- www.ii.uam.es/~abie/home.htm

- www.biometrics.org
- www.afb.org.uk
- www.tibs.org
- www.biometricscatalog.org
- www.biometricgroup.com
- www.bio.ri.ccf.org/Biometrics
- www.biometrics.org/html/research.html
- www.ibia.org
- www.itl.nist.gov/div895/biometrics
- biometrics.cse.msu.edu/index.html
- www.cl.cam.ac.uk/users/jgd1000/

8. Referencias

An Overview of Biometric Technologies, Lisa Kuster, SANS Institute 2003.

Fingerprint Recognition System, White Paper, Ingenico.

Biometrics and Network Security, Paul Reid, Prentice-Hall, 2003.

Challenges In Using Biometrics, Unites Status General Accounting Office, Septiembre 2003.

Control de Accesos, Tecnologías biométricas, Fernando M. Oubiña.

<http://qb0x.net/papers/Biometrics/Control%20de%20accesos.htm>.

Face Detection, Frischholz, Robert. Agosto 2003.

www.home.tonline.de/home/RobertFrischholz/face/htm.

Fingerprint Classification and Matching, Jain, Anil K. and Sharath Prabhakar.

www.research.ibm.com/ecvg/pubs/sharat-handbook.pdf.

How Iris Recognition Works, Daugman, John University of Cambridge.

www.cl.cam.ac.uk/users/jgd1000.

Iris Recognition and Identification, Ernst, Jan. Diciembre 2002.

www.irisrecognition.org.

Recent Advances in Biometric Person Authentication, Dugelay, J.L., J.C. Junqua, C. Kptropoulos, R. Kuhn, F. Perronnin, and I. Pitas.

www.eurecom.fr/~perronni/papers/icassp02.pdf.

Seguridad en Unix y Redes, Antonio Villalón Huerta, *Sistemas de Autenticación Biométrica*. Julio 2002.

<http://es.tldp.org/Manuales-LuCAS/doc-unixsec/unixsec-html/unixsec.html>.

Smart Cards and Biometrics in Privacy-Sensitive Secure Personal Identification Systems, White Paper, Smart Card Alliance.

Text Dependent and Text Independent Speaker Verification Systems, Marinov, Svetoslav, Technology and Applications. Febrero 2003. <www.speech.kth.se>.

What Is Biometrics? Automated Identification of Persons based on Personal Characteristics, Bruderlin, Rene. 2001. <www.bioservice.ch>.

Capítulo 7

Televisión Digital

César Sanz Álvaro

EUIT de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

cesar@sec.upm.es

1. Introducción (206)

2. Convergencia entre televisión digital e internet (206)
 - 2.1. Difusión de datos a través de la televisión digital (206)
 - 2.2. La convergencia (208)

3. Servicios de televisión digital (210)
 - 3.1. Vídeo bajo demanda (210)
 - 3.2. Televisión Interactiva (211)
 - 3.3. Servicios de información y reserva (212)
 - 3.4. Televisión digital móvil (212)
 - 3.5. Comunicaciones personales (213)
 - 3.6. Navegación en Internet (214)
 - 3.7. Realización de encuestas (215)
 - 3.8. Videojuegos mono y multiusuario (215)
 - 3.9. Servicios de visitas virtuales (215)
 - 3.10. Creación de contenidos multimedia (216)

4. Conclusiones (216)

5. Agradecimientos (217)

6. Referencias (217)

1. Introducción

La incorporación de las tecnologías digitales a un sistema tan ampliamente extendido como es la televisión hace posible la aparición de un conjunto de nuevos servicios y productos que pueden llegar al gran público, así como la convergencia con otras tecnologías de comunicaciones que hasta hace pocos años pertenecían a mundos distintos.

La tecnología digital permite que los servicios de comunicaciones tradicionales y los nuevos, con independencia de que utilicen imágenes, sonidos, datos o voz, puedan ofrecerse actualmente a través de muchas redes diferentes. Se puede hablar, por tanto, de un escenario de convergencia, entendida como la capacidad de diferentes plataformas de red para transportar tipos de servicios esencialmente similares, que tiene como consecuencia la aproximación de dispositivos de consumo tales como el teléfono, la televisión y el ordenador personal.

La digitalización de la televisión ha permitido, en primer lugar, mejorar la calidad de la señal, lo que el usuario percibe como una mejora de la calidad de la imagen; en segundo lugar, facilita su almacenamiento y gestión –la tradicional cinta VHS de acceso secuencial y rápida degradación con el uso, ha sido sustituida de manera fulgurante por el DVD, que evita los dos problemas anteriores ofreciendo, además, una calidad notablemente mejor–; por último, ha permitido aumentar la capacidad de transmisión, teniendo como consecuencia inicial para el usuario un aumento notable en el número de canales ofertados.

En este breve trabajo, dedicado a cubrir algunos aspectos relacionados con la televisión digital, se comienza analizando la posible convergencia entre ésta e Internet y a continuación se presenta un resumen de los servicios que soporta y que puede soportar en un futuro la televisión digital.

2. Convergencia entre televisión digital e Internet

2.1 Difusión de datos a través de la televisión digital

El estándar elegido para dar soporte a la televisión digital, el ISO/IEC 13818, más conocido como MPEG-2, define una trama de bits en la cual no solamente se puede insertar audio, vídeo e información de servicio –lo estrictamente necesario para ofrecer un servicio de televisión–, sino que además reserva un espacio para la posible difusión de datos, con una limitación para el ancho de banda asignable a estos, que se establece en el 20% del total.

Este hecho fue rápidamente aprovechado por los proveedores del servicio para efectuar la descarga de software a los *set-top boxes* a través del enlace descendente –ya fuese de transmisión vía satélite, cable o terrena– y para ofrecer a los usuarios acceso a Internet a través de la red de Televisión Digital. Desde hace algún tiempo existen en el mercado servicios que facilitan una conexión a Internet mediante satélites (como ASTRA, por ejemplo) dedicados fundamentalmente a la difusión de programas de televisión digital. Para acceder a estos

servicios, cada usuario ha de disponer de una antena parabólica orientada al satélite, de una tarjeta capaz de sintonizar el canal por el que se difunden los datos y filtrar los paquetes correspondientes y, además, de un canal de retorno por vía telefónica fija o móvil. Con estos medios se establece un enlace asimétrico tanto desde el punto de vista físico –es decir, con caminos separados para la transmisión y la recepción– como en lo referente a la velocidad. Lo primero no es cierto en el caso de televisión digital por cable, ya que el canal de retorno se materializa sobre el mismo cable (cable-módem).

Las ventajas que pueden ofrecer las redes de televisión digital para la difusión de datos son más acusadas y evidentes en el caso de servicios sin canal de retorno –normalmente carruseles de datos, es decir, conjuntos de ficheros u objetos de algún tipo que se reenvían cíclicamente– en los que un grupo de usuarios con derecho de acceso puede disfrutar de un ancho de banda exclusivamente dedicado. La implantación y popularización de este tipo de servicios dependerá en buena medida del hallazgo de contenidos que puedan interesar a un número suficiente de usuarios y, probablemente, del desarrollo de aplicaciones que utilicen como interfaz un aparato de televisión.

La implantación de redes de Televisión Digital Terrena (TDT) en los países de la Unión Europea, con el fin de sustituir a las analógicas actuales –apagón analógico previsto en 2010–, permitirá acceder a estos servicios utilizando medios disponibles en casi todos los hogares, extendiendo enormemente, por tanto, el universo de usuarios potenciales.

El DVB (1) ha establecido en una serie de normas los mecanismos y modos de encapsulado que permiten la inserción de datos, tanto en formato propietario, como de datagramas TCP-IP o UDP-IP en los paquetes de transporte MPEG-2 (*Transport Stream Packets, TSP*). Algunas de esas normas –las más relevantes– se comentan a continuación:

- a) ETSI. EN 300 468. En esta norma se especifica la Información de Servicio (SI) que forma parte de la trama DVB y que proporciona al usuario la información necesaria para poder seleccionar los servicios a los que desea acceder.
- b) ETSI. EN 301 192. Establece los formatos de encapsulado posibles: *Data Piping, Data Streaming, Multiprotocol Encapsulation, Data Carousels* y *Object Carousels*. El formato más ampliamente soportado por equipos comerciales o precomerciales para conexión a Internet a través de la red de televisión digital es el *Multiprotocol*. En este formato, los datagramas TCP(UDP)-IP se insertan en secciones DSM-CC (2).
- c) TSI. TR 101 202. Proporciona una guía para la implementación de sistemas de difusión de datos a través de redes DVB. Es un complemento de la anterior.

(1) DVB es el acrónimo del proyecto Digital Video Broadcasting. Se trata de un consorcio liderado por la Industria y formado por más de 260 distribuidores (broadcasters), fabricantes, operadores de red, desarrolladores de software y organismos reguladores de unos 35 países cuyo objetivo es el diseño de estándares para la distribución de televisión digital y servicios de datos.

(2) DSM-CC es el acrónimo de Digital Storage Media - Command & Control. Es un formato de sección pensado para el encapsulado de datos privados. Está definido en la parte 6 de la ISO/IEC 13181-6.

2.2 La convergencia

Actualmente, el auge del ADSL está propiciando un mayor aumento de este medio como soporte elegido para la conectividad a Internet desde los hogares frente al cable que, si bien también ha experimentado crecimiento en España en los últimos años, lo ha hecho en menor medida.

Ambos incrementos han tenido lugar en detrimento de la conexión a través de la red telefónica básica que, pese a todo, aún continúa siendo la preponderante.

No obstante, la introducción de nuevos servicios sobre Internet que requieran del uso de un ordenador personal como terminal de acceso a los mismos, cuenta con inconvenientes como el reducido parque de ordenadores disponible en el entorno residencial y con la falta de hábito en su uso en determinados perfiles sociodemográficos. Es razonable pensar que las siguientes generaciones, más familiarizadas con el uso de dispositivos electrónicos –las videoconsolas constituyen un buen ejemplo de ello– mejoren esta situación. Por el contrario, el televisor constituye hoy en día un equipamiento disponible en la práctica totalidad de los hogares y además con una aceptación social a todos los niveles y con una interfaz de usuario (el mando a distancia) sencilla y plenamente asimilada.

Por todo ello, resulta bastante predecible que el televisor, aunque no como lo conocemos actualmente, se convierta en el sistema digital integrador de funciones tales como: conexión a Internet, reproducción de DVDs, reproducción de otros contenidos disponibles en Internet (MPEG, DivX, MP3, etc.), visualización de álbumes de fotografías digitales, consola de videojuegos, terminal de abono de servicios interactivos, ordenador personal, consola de control domótico de la vivienda, de control de la seguridad, terminal de comunicaciones –videoconferencia–, terminal de acceso al comercio electrónico o a servicios de telemedicina, de teleasistencia y, por supuesto, de visualización de la programación televisiva.

Actualmente ya se ofrecen productos híbridos entre televisor y ordenador personal (3) que están compuestos de un monitor digital (típicamente TFT) y un ordenador personal que, además de las interfaces habituales en este tipo de equipos (*Ethernet*, *USB*, *Firewire*, *Wi-Fi*, *Bluetooth* y ópticas), incluye un sintonizador de radio y de televisión, lo cual permite su funcionamiento como televisor digital –incorporando las funciones de los *set-top boxes*– o sintonizador de radio AM/FM, a la vez que como ordenador personal. El sistema incorpora además un teclado/ratón inalámbricos y un mando a distancia. Finalmente, puede completarse con periferia diversa como altavoces, cámaras digitales, impresora, etc.

El hecho de disponer de un ordenador con sus interfaces de red permite la ejecución de software estándar de PC en el televisor; la descarga y reproducción de contenidos multimedia en los formatos usualmente disponibles en Internet (MP3, DivX, AVI, etc.); la reproducción y grabación de DVDs y CDs; el funcionamiento como PVR (*Personal Video Recorder*), pudiendo grabar las emisiones en disco duro y posteriormente copiarlas en soporte óptico; como sistema de *home-cinema*, pudiendo disponer de varios altavoces y descodificando los diversos formatos de sonido *surround* (4) (*THX Surround EX*, *DTS ES*, *Dolby Surround Pro-Logic*, etc.); como terminal de

(3) Véase, por ejemplo, la información disponible en <http://www.tvpc.com>.

(4) El sonido *surround* se consigue usando múltiples pistas de audio para envolver a la audiencia de películas o conciertos, de modo que experimente la sensación de encontrarse en el centro de la acción o del concierto al escuchar sonidos provenientes de diversos puntos a su alrededor.

juegos localmente o en red. Todo ello a través de menús manejables mediante el mando a distancia.

Aunque tecnológicamente parece que la convergencia es factible, ayudada por la mayor capacidad del canal de retorno ADSL que posibilita servicios con mayor grado de interactividad, existe un aspecto no menos importante que también puede ser decisivo en este proceso: los contenidos y la manera de acceder a ellos. La percepción que tiene un usuario de Internet sobre los contenidos es que la red ejerce la función de gran base de datos a la que se accede para consultar cierta información que otras personas o instituciones han querido hacer pública. En ningún caso el usuario responsabiliza de los contenidos al proveedor del acceso a Internet. La calidad de los contenidos supone un valor añadido para las empresas, instituciones o personas que los han creado y hecho públicos. En el caso de la televisión, el usuario sí que asocia la calidad de los contenidos con el proveedor de televisión: existe por tanto una ligazón más importante entre el proveedor de la televisión y los contenidos ofrecidos. Por último, y no por ello menos importante, la utilización de Internet implica un hábito individual con una sensación de privacidad, mientras que ver la televisión está asociado a una actividad que se realiza en grupo.

En el proceso de acercamiento entre televisión e Internet se pueden observar dos fenómenos diferentes:

a) **Trasvase de servicios de Internet a la televisión digital.** En una primera línea de convergencia se puede observar cómo empresas que estaban dando un determinado servicio a través de Internet, pasan a ofrecer servicios similares a través de la televisión. En este caso, el objetivo perseguido no es tanto sustituir a Internet sino buscar otro canal adicional de comunicación y acceso a los usuarios que además cuenta con un poder de penetración en los hogares mucho mayor que cualquier otro.

En esta línea, se pueden destacar las iniciativas de compañías como *Vodafone* y *Amena* para crear sendos canales de televisión en la plataforma *Canal Satélite Digital* (actualmente integrada en la nueva plataforma *Digital+*) dedicados a la promoción y puesta a disposición de los usuarios de distintos servicios de forma interactiva: recargar el móvil, comprar productos...

A tenor de este tipo de iniciativas se puede establecer una analogía entre canal de televisión y página web. Al igual que las empresas creaban su propia página web, es presumible que tiendan a tener su propio canal de televisión. Bajo este enfoque, la lectura que se podría hacer es que la aparición de este tipo de canales puede crear un nuevo concepto canal televisivo-página web en el que los contenidos van a jugar un papel decisivo.

Habitualmente, estos contenidos serán generados por la propia empresa que promociona el canal televisivo. Aún así, no es descabellado pensar que exista una dura competencia entre empresas para que se ofrezcan a través de sus canales determinados contenidos generales, proporcionando un valor añadido al canal de televisión.

- b) **Emisión de televisión a través de Internet.** Se puede encontrar una amplia variedad de sitios web que utilizando técnicas de *streaming* (5) ofrecen emisiones de televisión (6).

En esta línea cabe destacar la estrategia seguida por *Telefónica* que ofrece la emisión de programas de televisión por ADSL, tras haber fomentado la incorporación de sistemas ADSL en la mayor cantidad de hogares posible con el objetivo de aumentar el mercado de posibles clientes para este nuevo servicio. Esta iniciativa es una apuesta firme de *Telefónica* quien ha solicitado autorización a la Administración para sustituir su compromiso de despliegue de cable por un despliegue de TV sobre ADSL, solicitud ya concedida y que es una realidad. Este hecho demuestra la firmeza con la que se está apostando por esta tecnología para proporcionar este tipo de servicios, al igual que otros muchos operadores dominantes de telecomunicación en diversas partes del mundo.

3. Servicios de televisión digital

En este apartado se presenta un resumen de los servicios que se están ofreciendo, o que se podrían ofrecer, a través de la televisión digital. Muchos de estos servicios están ya disponibles a través de otras redes de comunicación; sin embargo, el aumento de la capacidad e interactividad que ofrece la televisión digital, puede permitirle soportarlos y el hecho de que ver la televisión sea una actividad de ocio a la que los usuarios dedican gran cantidad de tiempo anima, como ya se ha apuntado, a la convergencia sobre esta interfaz. A continuación se describen brevemente algunos servicios.

3.1 Vídeo bajo demanda

Es uno de los servicios pioneros asociados a la televisión digital. El servicio de VOD (*Video On Demand*) ofrece al usuario la posibilidad de seleccionar la película, video clip, programa, episodio o cualquier contenido de vídeo, en cualquier momento. El usuario va descargando el contenido de vídeo utilizando *streaming*. Se le ofrecen las funciones de reproducir, parar, rebobinar, avance rápido, etc., similares a las que ofrece un magnetoscopio o un reproductor de DVD local.

El vídeo bajo demanda no requiere gran ancho de banda en el canal de retorno –se puede materializar a través del bucle de abonado– pero, por el contrario, es bastante exigente en ancho de banda descendente (hacia el usuario). Esta exigencia está obligando a que los servicios que se ofrecen actualmente sean una versión reducida: se ofrecen diferentes películas en diferentes canales, o se ofrece la misma película con diferentes horas de comienzo.

(5) *Técnica de transferencia de datos (típicamente audio y video) de modo que pueden ser procesados por el receptor a medida que los va recibiendo. Esta técnica es muy empleada en Internet debido a que resuelve la incomodidad para el usuario de tener que esperar a recibir todo el fichero –que puede ser de gran tamaño– antes de poder empezar a visualizarlo/escucharlo. También se usa para la difusión de eventos en directo que el usuario puede seguir aunque con un pequeño retardo (segundos) respecto al tiempo real estricto en que estos tienen lugar.*

(6) En <http://www.webtvlist.com> puede encontrarse una guía de servidores web que ofrecen televisión on-line.

Una alternativa interesante es el video bajo demanda sobre IP. En entornos reducidos, por ejemplo hoteles, puede aprovecharse la infraestructura telefónica previa adaptándola para soportar ADSL (inclusión de DSLAM (7), etc.). En este caso el terminal receptor puede ser un televisor convencional junto con un *set-top box IP* que, controlado a través del mando a distancia, permite al usuario acceder y controlar la visualización de los contenidos ofrecidos.

Si se pretende abordar escenarios con mayor número de usuarios –la estrategia de *Telefónica* mencionada en el apartado anterior–, las necesidades de ancho de banda crecen. Sin embargo, el sistema es conceptualmente escalable con una organización jerárquica de los servidores de video, de manera que aquellos contenidos con más demanda estén disponibles en servidores de menor capacidad y más próximos al usuario final –en la central a la que se conecta su bucle de abonado ADSL–, mientras que otros servidores de mayor capacidad almacenen todos los contenidos disponibles y puedan volcar los requeridos a los servidores de menor capacidad mediante enlaces de alta velocidad. Además, gracias a la técnica de *streaming*, el usuario puede empezar a visualizar el programa elegido sin necesidad de esperar a que éste haya sido descargado por completo a su servidor.

3.2 Televisión Interactiva

Es casi una obviedad, por concepto, decir que la televisión es un sistema de telecomunicación unidireccional, sin ningún tipo de interacción con el usuario salvo la selección del canal que se desea visualizar. Por ello, la introducción de la interacción del usuario con el sistema puede presentar un hito relevante para ese medio de transmisión y al mismo tiempo abrir un conjunto importante de posibilidades o servicios. Este hecho, como otros, ha sido posible gracias a la digitalización. Bajo este nombre se pueden englobar dos tipologías diferentes de servicios:

Por un lado, el concepto más extendido sobre televisión interactiva está relacionado con los servicios que permiten a los usuarios interactuar con los programas emitidos a través de un determinado canal: realización de votaciones, participación en concursos, etc. Este tipo de servicios, que están funcionando en la actualidad, no requiere de gran ancho de banda en el canal de retorno y, puesto que la emisión es común –existe un único canal–, no comporta un aumento del ancho de banda necesario en sentido directo. En los apartados siguientes se indican un conjunto de servicios, en base a la interactividad, como son los de compra, reserva, realización de encuestas y otros.

Por otro lado, se puede entender la televisión interactiva como un servicio en el que fuesen los usuarios los que decidieran la propia programación (obviamente dentro de unas alternativas propuestas). Serían los propios usuarios los que pudieran hacer combinaciones entre las ofertas televisivas (canales emitidos) para crear su propia programación: programas emitidos y hora de emisión. En este caso, jugando con la variedad de posibilidades ofertadas y con el grado de libertad que se deja a los usuarios, se pueden ajustar las características del servicio con respecto al ancho de banda.

(7) Digital Subscriber Line Access Multiplexer, *multiplexor que permite la conexión de varios bucles de abonado ADSL a una red de alta velocidad.*

3.3 Servicios de información y reserva

Bajo este epígrafe se pretende englobar un conjunto de servicios que vendrían a constituir una nueva generación del servicio que se está ofreciendo actualmente a través del teletexto en la televisión analógica. Estos servicios ofrecerían información *on-line* sobre los sorteos y loterías, horóscopo, clasificaciones deportivas, cartelera de cine, viajes en tren o en avión, el tiempo, estado del tráfico... La televisión digital, a través del canal de retorno, además de soportar el servicio de información, permitiría la reserva.

Además, en televisión digital, estos servicios se podrían ver sensiblemente mejorados mediante la incorporación de nuevas opciones multimedia: reproducción de vídeos con los goles a la vez que se ven los resultados de la liga de fútbol, reproducción de *trailers* de los últimos estrenos a la vez que se indican los cines en los que emiten las películas, imágenes reales del estado de las carreteras o vídeos de promoción turística sobre diferentes regiones del país a la vez que se consulta la previsión del tiempo en esa región. Otra vez la adición de buenos contenidos al servicio, sólo posible en televisión digital, es un punto clave en la buena percepción del servicio por parte de los usuarios.

Como se apuntaba anteriormente, una mejora sustancial sobre el servicio actual es la posibilidad de realizar reservas: a la vez que se ofrece información de sorteos se podría ofrecer la posibilidad de realizar apuestas, se podrían realizar reservas de billetes de viaje (tren o avión), de entradas de cine o teatro, etc. Esta funcionalidad es posible gracias a la interactividad.

Actualmente, estos servicios se están ofreciendo a través del teléfono, bien con operadores humanos, bien con sistemas automáticos o mediante mensajes cortos.

3.4 Televisión digital móvil

Si la televisión por concepto no es un sistema interactivo, tampoco lo es móvil; es decir, no fue concebida para soportar servicios que vayan unidos a la movilidad. Sin embargo, hoy en día la movilidad es un requisito casi imprescindible de un sistema de comunicaciones debido al enorme impulso de la telefonía móvil. En este contexto, la posibilidad de transmitir televisión –o al menos, secuencias de imágenes y su audio asociado– a un receptor en movimiento, cobra gran interés y puede resultar sumamente atractiva para los usuarios.

Actualmente son tres las redes de comunicaciones que pueden soportar este servicio:

- a) **La telefonía móvil de tercera generación.** El ancho de banda ofrecido (8) por la telefonía móvil UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) unido al pequeño tamaño de la pantalla disponible en los terminales hace factible la recepción de televisión en un teléfono móvil de tercera generación. Este tipo de terminal no parece el más adecuado para visualizar, por ejemplo, una película, pero sí para contenidos más breves como por ejemplo noticias,

(8) Por ejemplo, actualmente la compañía Vodafone ofrece un ancho de banda de 384 Kbps hacia el usuario y de 64 Kbps desde el usuario.

información meteorológica o resúmenes de acontecimientos deportivos. No obstante, la calidad de la transmisión a través de este tipo de redes decrece si el receptor se desplaza con cierta velocidad, dificultando incluso la comunicación vocal (un buen ejemplo de este hecho es intentar mantener una conversación a través del teléfono móvil viajando en un tren de alta velocidad).

- b) **La radio DAB (9).** Como en el caso de la televisión, la tecnología digital también se ha incorporado a la radiodifusión comercial. En la trama que define DAB, además de la información de audio y de servicio, también se pueden transmitir datos ocupando un máximo del 20% del ancho de banda. En normativas posteriores se establecen básicamente dos procedimientos para hacerlo: el protocolo MOT (*Multimedia Object Transfer*) esencialmente para la transmisión de ficheros y el protocolo IP más adecuado para aplicaciones de *streaming*. En el caso de la radio digital, el ancho de banda disponible para datos es inferior al disponible en la televisión digital y comparable al que ofrece la telefonía UMTS; sin embargo, éste podría emplearse para transmitir televisión aunque en más baja calidad pero a cambio, permitiría que el receptor se desplazase a alta velocidad.

Aunque actualmente la mayoría de las grandes cadenas de radio que emiten en analógico también lo hacen en digital, ninguna de ellas difunde datos IP; sin embargo, pensando en el mercado del automóvil en donde prácticamente todos los vehículos tienen integrado un receptor de radio, servicios como la difusión de información turística de la zona visitada, de información meteorológica, de noticias, de películas de dibujos animados, resultan factibles sobre este tipo de red y pueden tener un elevado interés dado el mercado potencial.

Por último, actualmente existe una dificultad adicional derivada del elevado coste de los receptores de radio digital debido a la escasa demanda, la cual, a su vez, es consecuencia de la ausencia de servicios que hagan la radio digital atractiva al usuario. De este círculo vicioso tal vez solo se salga si los fabricantes de automóviles apuestan fuertemente –quizás animados por ayudas oficiales– y dotan a sus nuevos vehículos de radios digitales en lugar de las analógicas actuales.

- c) **DVD móvil.** Por su parte, el DVD también está trabajando en un estándar para mejorar las prestaciones del DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*), principalmente en dos aspectos: mantener la calidad de la recepción para mayores velocidades de desplazamiento del receptor y reducir el consumo pensando en terminales portátiles. Así nace el DVB-H (*DVB-Handheld*) de cuya norma se publicó el borrador final en Junio de 2004.

3.5 Comunicaciones personales

En este caso se engloban los servicios de comunicación de bajo coste como pueden ser los *chats*, mensajes cortos (SMS y MMS) o correo electrónico. A través de la televisión se pueden ofrecer

(9) DAB es el acrónimo de Digital Audio Broadcasting. En 1987 un consorcio formado por radiodifusores, operadores de red y compañías del sector electrónico de consumo y profesional comienza el proyecto *Eureka 147*, financiado por la Unión Europea, con el objeto de desarrollar un sistema de difusión de audio y datos a receptores fijos, portátiles y en movimiento. Como resultado se publica el estándar europeo ETS 300 401.

estos servicios de comunicación que, si bien están resueltos mediante el acceso a Internet, el hecho de ofrecerlos a través de la televisión ofrece un valor añadido importante a la programación de televisión que se esté emitiendo en ese momento. Se pueden generar foros de discusión y cruces de opiniones sobre los programas emitidos que propicien el aumento de audiencia del programa en cuestión, aspecto muy importante para las cadenas de televisión.

En la actualidad, existen programas en los que, de forma paralela a la emisión del propio programa, se muestran en pantalla fragmentos de mensajes cortos enviados por los telespectadores en los que se vierten opiniones sobre un tema abordado en el programa. Este tipo de servicios tienen una mayor aplicación en programas de debate, en los que los usuarios pueden tener formada una opinión que quieren compartir.

Este tipo de comunicación puede ser a la vez motivo de nuevas ideas de programas televisivos en los que no sólo se muestren las vivencias de los concursantes sino que además se permita la comunicación entre concursantes y telespectadores.

3.6 Navegación en Internet

La televisión no sólo se puede convertir en un centro de comunicación, sino que también se puede convertir en la interfaz para el acceso a los servicios que las empresas tradicionalmente han venido ofreciendo a través de páginas web. Dado que la televisión es el interfaz de comunicación más utilizado en el hogar, parece razonable pensar que la información que actualmente se obtiene a través del ordenador personal y mediante una conexión de poca capacidad, se acabe obteniendo a través de este interfaz mucho más utilizado. En este sentido pueden aparecer servicios de acceso y navegación por Internet.

A través de la televisión digital se podría dotar de un acceso a Internet que completase a la programación emitida. Por ejemplo, a la vez que se está emitiendo un anuncio sobre un banco determinado, se podría ofrecer la posibilidad de acceder a su página web para la consulta del saldo o la realización de transferencias, o simplemente para recabar más información sobre cualquier asunto. De igual forma, se podrían ofrecer servicios de descarga de tonos para móviles, canciones en formato MP3 u otros contenidos de ocio.

Otro abanico de servicios relacionados con la publicidad son aquellos que además, utilizando la interactividad, permitan la posibilidad de comprar; este tipo de servicios pretende dar un paso más en la evolución de la publicidad. De hecho, varios fabricantes de automóviles han lanzado ya campañas publicitarias interactivas para promocionar nuevos modelos de coches. Típicamente, durante la difusión de este tipo de anuncios, el espectador, empleando el mando a distancia, puede interactuar para obtener más información acerca del modelo anunciado, responder a preguntas que aparecen en sucesivas pantallas o participar en sorteos de vehículos del nuevo modelo.

La interactividad permite también que los usuarios puedan comprar el producto que se está anunciando en ese mismo momento. En este caso, la publicidad tenderá a ser más específica y contextual. Por ejemplo, después de un partido de fútbol se podría ofrecer la venta de una camiseta pero sólo de aquel jugador que ha destacado en el partido. Otra opción es ofrecer al telespectador en el descanso la posibilidad de encargar una pizza y unas bebidas para después del partido.

Este tipo de compra ofrece la ventaja de que el usuario no tiene que mandar ni su número de tarjeta ni su contraseña puesto que sus datos bancarios están ya registrados con anterioridad.

3.7 Realización de encuestas

En este punto se hace alusión a los servicios que permiten la realización de encuestas a los usuarios. Dado que la televisión ofrece el acceso a una gran cantidad de usuarios simultáneamente, se puede aprovechar esta accesibilidad para realizar encuestas. Además, si las encuestas están relacionadas con la programación que se está emitiendo en ese momento, se puede conseguir una mayor participación.

En este tipo de servicios la cantidad de información a transmitir es muy reducida por lo que su aplicación es tecnológicamente viable tanto en la televisión digital por cable como en la televisión terrestre o por satélite (utilizando el bucle de abonado como canal de retorno). Se han realizado numerosas experiencias de este tipo como, por ejemplo, el *Quiz de Telepizza* en *Canal Satélite Digital* realizado a finales del 2002 o las votaciones de los premios de música de la MTV (*MTV Music Awards*).

3.8 Videojuegos mono y multiusuario

Cierto es que Internet ha tenido un gran éxito en relación con la oferta de juegos multiusuario y que el PC ha sido tradicionalmente el centro donde ejecutar los videojuegos, pero en los últimos años ha aumentado sensiblemente la venta de videoconsolas y equipos similares que aprovechan el televisor, por su mayor tamaño, para dar más realismo a los juegos. Esta tendencia ha ocasionado que la interfaz de visualización de los videojuegos, que tradicionalmente había sido el ordenador personal, se traslade a la televisión. En la situación actual, la única diferencia es que los juegos a través del ordenador personal (con conexión a Internet) permiten la interconexión entre varios usuarios, mientras que la interfaz de televisión aún no lo permite. A medida que la capacidad de interactividad de la televisión aumente (televisión digital por cable o canales de retorno de mayor capacidad –ADSL– para la terrena o por satélite), esta funcionalidad (juegos multiusuario) será una realidad a través de la interfaz que supone la televisión.

3.9 Servicios de visitas virtuales

A través de la televisión se pueden ofrecer servicios de visitas virtuales a museos o recintos con exposiciones, en los que a modo de videojuego se puedan ir recorriendo y descubriendo sus características.

Con una idea similar se puede plantear la realización de visitas virtuales a supermercados, en las que el usuario pueda *caminar* virtualmente por el establecimiento y seleccionar y comprar los productos deseados. En este caso, puede aprovecharse la capacidad de envío de datos a través del enlace descendente para la actualización de precios, presentación de ofertas, promociones, etc.

Este tipo de servicios no supone una novedad en sí puesto que ya han sido propuestos y hay ejemplos funcionando a través de Internet. El hecho de plantearlo a través de la televisión es porque esta interfaz es accesible para más compradores potenciales.

3.10 Creación de contenidos multimedia

Pensando de cara al futuro, y según lo apuntado sobre la convergencia de tecnologías y servicios al principio de este trabajo, se puede ver la televisión como un centro de gestión y producción de contenidos multimedia: tanto animaciones como imágenes. Un centro en el que se almacenen y manipulen las fotografías obtenidas con una cámara fotográfica digital, o las secuencias de vídeo grabadas con una cámara de vídeo digital.

Estos contenidos se pueden enviar a través de las posibilidades de comunicación que ofrecen los servicios comentados anteriormente.

4. Conclusiones

A la vista de los servicios descritos, muchos de los cuales ya son ofrecidos a través de Internet, y teniendo en cuenta la enorme penetración, aceptación y familiaridad de uso de la televisión en los hogares, se puede aventurar que la televisión digital acabará constituyendo el soporte de muchos de ellos. Para ello es necesario, desde un punto de vista tecnológico abordar diversos aspectos que se han mencionado en el trabajo y que son los siguientes:

Primero, el receptor de televisión deberá cambiar de aspecto en los próximos años convirtiéndose, desde el punto de vista técnico interno, en un ordenador personal aunque desde el punto de vista del usuario pueda, y deba, seguir manejándose, para muchas de sus funciones, a través del mando a distancia convencional, que ya está plenamente asimilado por todos los sectores de usuarios. Esto va a exigir, desde el punto de vista de la ingeniería, el diseño de interfaces de usuario sencillas que resulten manejables con dicho mando, así como que el producto final resultante tenga un precio asequible.

Segundo, son aspectos primordiales para el desarrollo de la televisión digital, desde el punto de vista de convergencia en servicios, que se la dote con las facilidades técnicas de interactividad y movilidad. Ambas facilidades no son tecnológicamente sencillas. En cuanto a la interactividad las soluciones son muy dependientes, tanto del tipo de servicios que se quieran proveer a través de la televisión digital, como del tipo de red: cable, terrestre o satélite; es tal vez la primera la que mayores posibilidades aporta por disponer del mismo medio físico como canal de retorno. En cuanto a la movilidad, se indican en el informe las líneas en las que se está trabajando actualmente aunque, de momento, no está claro cuál terminará imponiéndose.

Bajo las premisas anteriores, el espectro de posibles servicios a proveer es ingente. Algunos de los nuevos servicios, sobre todo los que ya están más implantados en Internet como la propia navegación o el chat, llevan implícito un concepto de privacidad y uso individual, mientras que la televisión es una actividad más familiar o, cuando menos grupal, que incluso viene condicionada por la ubicación física de este elemento en el hogar –típicamente en el salón. Pero esto, que pudiera afectar al desarrollo de este tipo de servicios, puede impulsar la implantación de otros que se vean favorecidos por la participación colectiva de la familia.

Finalmente, es interesante recalcar que la implantación y popularización de algunos de los servicios expuestos en este capítulo dependerá en buena medida de la provisión de contenidos que puedan interesar a un número suficiente de usuarios. Como se ha expuesto, a diferencia de

Internet, en televisión la calidad de los contenidos obliga al operador o suministrador del servicio, puesto que existe una relación contractual con el usuario. Por ello, el desarrollo de contenidos y su gestión es de gran importancia.

5. Agradecimientos

Este trabajo se ha nutrido de la experiencia adquirida en la ejecución de diversos proyectos de I+D en este área y de otros trabajos previos realizados a lo largo de los últimos años por parte del Grupo de Diseño Electrónico y Microelectrónico de la Universidad Politécnica de Madrid. En particular, quisiera agradecer las aportaciones de los profesores Rubén San-Segundo, Miguel A. Freire y Fernando Pescador.

Finalmente, quisiera agradecer a los profesores Javier Portillo y Juan M. Meneses sus comentarios y aportaciones al contenido de este trabajo.

6. Referencias

- Auna (2004): eEspaña 2004. Informe anual sobre el desarrollo de la Sociedad de la Información en España. Fundación Auna.
- COIT (2003a): Agenda 2003 de la sociedad de la información.
- COIT (2003b): Infraestructuras y servicios avanzados de las telecomunicaciones en España.
- ETSI. EN 300 468 v1.3.1 (1998-02): *Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems.*
- ETSI. EN 301 192 v1.2.1 (1999-06): *Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting.*
- ETSI. TR 101 202 v1.1.1 (1999-02): *Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for Data Broadcasting.*
- ETSI ETS 300 401 (1997): *Radio broadcasting systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers.*
- ETSI EN 301 234 v1.2 (1999): *Digital Audio Broadcasting (DAB); Multimedia Object Transfer (MOT) protocol.*
- ETSI ES 201 735: *Digital Audio Broadcasting (DAB); Internet Protocol (IP) datagram tunnelling.*
- ETSI EN 302 304 V1.1.1. Final draft. (2004-06): *Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H).*
- ISO/IEC 13818 *Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information.* 2000.

Capítulo 8

Interacción hablada entre personas y máquinas

Javier Ferreiros López
ETS Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
jfl@die.upm.es

1. Introducción (220)

2. Tecnología base (220)

2.1. Arquitectura general de un sistema de diálogo (220)

2.2. Algunos detalles sobre los módulos de la arquitectura (227)

3. Metodología de diseño (232)

4. Evaluación de sistemas de diálogo (233)

5. Aplicaciones (233)

1. Introducción

El habla es un método natural de expresión entre personas. Gracias al habla comunicamos conocimientos, intenciones y emociones utilizando un convenio que llamamos Lengua.

Como evolución de todo lo aprendido durante prácticamente medio siglo de investigación en tecnología del habla se llega al diseño de sistemas que hacen uso de la capacidad comunicativa del habla, aunque esta vez con máquinas como interlocutoras.

El interés inicial de aplicación de esta tecnología se planteó en el acceso telefónico a servicios de información y actuación y ha evolucionado hasta ideas recogidas bajo el concepto de inteligencia ambiental, ofreciendo interfaces inteligentes que son capaces de negociar siguiendo un diálogo natural para conseguir cierto objetivo requerido por los usuarios.

En la constitución de los sistemas de diálogo participan varios módulos de tecnología del habla en colaboración con otros actuadores o sistemas de manejo de bases de datos específicos de cada aplicación. Estos módulos son reconocedores de habla y del hablante, sistemas de comprensión del lenguaje natural, sistemas de gestión de diálogo, sistemas de generación de respuesta natural y conversores de texto a habla.

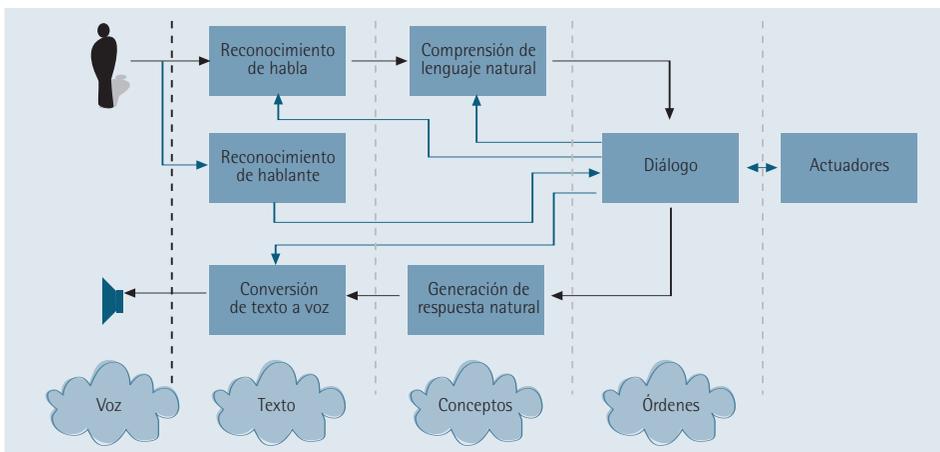
En este capítulo presentamos una arquitectura general de estos sistemas y comentamos algunas de las particularidades más importantes para el diseño y evaluación de los mismos, para concluir con una revisión de los campos de aplicación de esta tecnología.

2. Tecnología base

2.1 Arquitectura general de un sistema de diálogo

Los sistemas de diálogo siguen la arquitectura de la *figura 1*. En primer lugar vamos a realizar un rápido recorrido de la arquitectura indicando qué cometido tiene y qué tipo de información maneja cada módulo.

FIGURA 1. Diagrama de módulos de un sistema de diálogo.



Por la vía superior, la señal recogida por el micrófono es procesada por un reconocedor de habla para obtener una transcripción a texto del contenido hablado. Por lo tanto, el reconocedor de habla nos sirve de enlace entre el mundo de las señales acústicas que llegan al micrófono y el mundo del texto escrito, tal y como intentan representar las fronteras punteadas de la ilustración.

Para mayor claridad, vamos a intentar seguir un ejemplo práctico. Supongamos que un usuario de un sistema telefónico de información sobre viajes en tren pronuncia la frase "Pues voy de Madrid a Barcelona". El resultado esperado del reconocedor de habla es precisamente ese texto entrecomillado.

Sin embargo, la simple expresión como texto de la señal hablada no es suficiente en un sistema de diálogo, ya que lo que queremos es extraer el contenido semántico transportado por las palabras reconocidas. Un reconocedor de habla aislado de la arquitectura que presentamos sólo tendría utilidad como sistema de dictado.

Para extraer el contenido semántico de cada frase hablada, necesitamos por tanto utilizar el siguiente módulo de la arquitectura, el sistema de comprensión del lenguaje natural que nos llevará desde el mundo del texto escrito al mundo de los conceptos. Este módulo recoge la salida generada por el sistema de reconocimiento de habla y la transforma en algún tipo de representación semántica que sea útil para interpretar la intención del usuario. De manera muy habitual, esta representación se basa en marcos semánticos que son conjuntos de un número variable de pares atributo-valor. En el ejemplo que estamos siguiendo, el marco semántico obtenido tras el trabajo del sistema de comprensión podría tener el siguiente aspecto:

ATRIBUTO (CONCEPTO)	VALOR
Ciudad Origen	Madrid
Ciudad Destino	Barcelona

Este marco está en el mundo de los conceptos relevantes (la columna "atributo") que se obtienen del análisis de la frase junto con valores específicos (si aplican) que también se han detectado en la frase como asociados a los conceptos. Ya desde este momento observamos que puede haber palabras en el texto escrito sin relevancia en la interpretación semántica ("Pues voy", en nuestro ejemplo) y otras que ayudan a determinar el concepto referido y sus valores concretos ("de Madrid a Barcelona").

Es importante hacer notar que este marco nos acerca a la interpretación de la intención del usuario, pero que hay aún bastante trabajo que realizar. Un detalle importante es que la interpretación de la frase se obtiene como la suma del marco obtenido de la presente frase pronunciada por el hablante junto a la intención acumulada a lo largo de todo el diálogo (compuesto de diversos turnos de intervención persona-máquina). Dicho de otra manera, la interpretación concreta puede ser muy dependiente del contexto semántico que se va definiendo según fluye el diálogo. Tradicionalmente, al módulo de comprensión sólo se le delega la función de extraer el marco semántico de la frase actual, relegando al sistema de gestión de diálogo (el siguiente en la arquitectura) la interpretación y decisión de cómo continuará el diálogo.

El sistema de gestión del diálogo recoge en consecuencia el marco semántico de la última frase pronunciada por el usuario al mismo tiempo que la integra con la historia guardada dentro del diálogo actual y aplica la lógica de la aplicación para reaccionar de una determinada manera.

Es importante también en algunas aplicaciones contextualizar la interpretación a un conocimiento respecto al estado del sistema. Nos estamos refiriendo a múltiples casos de los que puede servir de ejemplo el control de un entorno domótico. Es necesario conocer el estado del equipamiento controlado para operar congruentemente: vendría bien saber qué luces están encendidas para deducir cuál se desea encender ahora o necesitamos saber si el televisor está apagado para encenderlo antes de sintonizar la emisora que desea el usuario.

De manera general, el sistema de gestión de diálogo tiene una doble tarea:

- Detectar qué objetivo persigue el usuario. Es decir, deducir cuál de las actividades que puede realizar el sistema es la que desea el usuario. Por ejemplo, un sistema de diálogo puede ser capaz de ofrecer billetes de tren, de avión, pedir un taxi, obtener entradas de cine, dar información meteorológica, etc. El gestor de diálogo debe deducir cuál de estas posibles actividades requiere el usuario.
- Realizar un análisis de la congruencia entre el objetivo que el sistema cree que el usuario ha solicitado y el conjunto de datos recogidos en la interacción.

Respecto a esta última tarea, se pueden dar diversos casos:

- Puede ser que con todos los conceptos recogidos a lo largo del diálogo, se pueda cumplir perfectamente una de las posibles actividades para las cuáles está preparado el sistema. Esto ocurre cuando el gestor de diálogo detecta que ha conseguido todos los conceptos necesarios o incluso alguno más optativo para uno de los objetivos tratables. La reacción, lógicamente, debe ser realizar la tarea solicitada e informar al usuario respecto a la actividad acometida, bien comentando la operación realizada o bien devolviendo al usuario la información requerida si se trata de una tarea de consecución de información.
- En otro caso, el gestor de diálogo puede detectar que hay conceptos necesarios para acometer el objetivo que se ha considerado como más probable que aún no han sido referidos a lo largo del diálogo mantenido, por lo que debe lanzar un turno de intervención para solicitar al usuario la información necesaria. Quizás este es el caso de nuestro ejemplo (recordamos que esto depende del contexto formado gracias al diálogo completo que se haya seguido previamente a la frase que hemos utilizado de ejemplo) en el cuál el gestor de diálogo probablemente deduzca que deseamos viajar en tren (hemos supuesto que es el único objetivo para el que se preparó el sistema del ejemplo, por lo que esta parte de deducción de objetivo es no ambigua y trivial) desde Madrid a Barcelona. Siguiendo la lógica de la aplicación, el gestor deduce que le hace falta conocer cuándo desea el usuario realizar el viaje, por lo que lanzaría un nuevo turno de intervención para conseguir esta información del usuario.
- Finalmente, puede darse el caso de que algún concepto no relacionado con el objetivo que aparece como más probable, haya sin embargo sido referido por el usuario. En este caso el

sistema de gestión de diálogo debe reaccionar lanzando un turno de aclaración preguntando al usuario sobre el concepto que sobra.

En los casos en que el gestor de diálogo decide realizar una de las actividades para las que está preparado, se comunica con el módulo que en la arquitectura hemos denominado genéricamente como actuadores. Este módulo de actuadores puede contener muy diferentes sistemas de actuación:

- *Sistemas de interacción con bases de datos.* Para las tareas en que el usuario pueda solicitar algún tipo de información que suele estar recogida en algún tipo de base de datos o en las que la consecuencia de la actividad implique la modificación de una base de datos (por ejemplo, apuntar una reserva o realizar una transacción), el gestor de diálogo realiza una petición de información o una actualización de la base de datos a la que el actuador correspondiente responde con un conjunto de datos como resultado de la búsqueda o con una confirmación de la actualización, todo ello bajo formatos y protocolos compartidos por ambos módulos.
- *Sistemas de actuación directa.* El resultado de la operación puede ser controlar el funcionamiento de un motor que suba una persiana, programar el encendido de una calefacción, enviar comandos a un electrodoméstico vía infrarrojos, mandar órdenes a un concentrador de servicios domóticos, promocionar una llamada a otra extensión gracias al control de una centralita telefónica privada en el caso de un sistema de cabecera telefónica de un edificio y otros muchísimos ejemplos.

Cuando el gestor de diálogo decide lanzar un nuevo turno de diálogo, tiene que expresar una confirmación de acción o entregar una cierta información al usuario, utiliza la vía inferior de la [figura 1](#) para hablar al usuario. De manera directa, el gestor de diálogo se comunica con el módulo generador de respuesta gracias a un marco semántico semejante al que vimos que el sistema de comprensión de lenguaje natural le entregaba al propio gestor. Esta vez, el módulo de gestión de diálogo envía un conjunto de conceptos que definen qué es lo que se quiere decir al usuario, tanto en las ocasiones en que se le quiere preguntar algo como en aquellas en que se le facilita información o confirmación de acciones.

Según estamos describiendo, el gestor de diálogo informa al generador de respuesta sobre qué hay que decir al usuario y no cómo. El cómo será precisamente responsabilidad del generador de respuesta.

Siguiendo con nuestro ejemplo, el gestor de diálogo podría enviar al sistema de generación de respuesta una petición de que se le pregunte al usuario acerca del momento en que desea viajar y, para ello, utilizará un marco parecido al siguiente:

ATRIBUTO (CONCEPTO)	VALOR
Tipo de respuesta	pregunta
Objeto de la pregunta	momento

El sistema de generación de respuesta es el responsable de generar un texto que cumpla las condiciones del marco semántico enviado por el gestor de diálogo.

Por supuesto, en la Lengua existen muy diversas formas de expresar la misma idea y esta es una característica que se utiliza en los sistemas de generación actuales para generar cada vez una expresión distinta para el mismo marco semántico, lo cual es percibido por los usuarios como una mayor naturalidad por parte del sistema de generación, que no se comporta como un autómatas que siempre utiliza la misma frase para expresar una idea.

Para el ejemplo que vamos siguiendo, por lo tanto, el resultado de la actuación del generador de respuesta puede generar textos diferentes cada vez que se invoque con el mismo contenido conceptual. Quizás en una ocasión se generaría el texto "¿Podría indicarme cuándo desea realizar su viaje?" y en otra ocasión, para el mismo contenido conceptual, el sistema puede generar, por ejemplo, "Indíqueme, por favor, en qué momento desea viajar."

Ya hemos vuelto al mundo del texto, pero aún nos queda alcanzar el mundo de la señal acústica que será percibida por el usuario. El módulo de la arquitectura que resuelve esta última parte se suele conocer con el nombre popularizado de "sintetizador de voz", aunque los investigadores en tecnología del habla preferimos denominarlo "conversor texto-habla". Y no es un capricho, sino que pensamos que define mucho mejor las labores que tiene que realizar este módulo.

Como hemos visto, a este módulo se le entrega un texto compuesto de secuencias de palabras y, adicionalmente, algunos signos de puntuación (comas, puntos, signos de interrogación, de exclamación, etc.).

Para generar una señal acústica que sea una voz que nos lee este mensaje, hay que realizar diversos análisis fundamentalmente encaminados tanto a que el mensaje se construya con la secuencia de alófonos (realizaciones acústicas de los fonemas) correctos, es decir, que el mensaje diga exactamente lo que queremos, como que la prosodia (constituida por la modulación de los parámetros de tono, duración temporal e intensidad) sea adecuada al mensaje (por ejemplo, que el usuario perciba una pregunta como tal y la diferencia de una afirmación) y lo suficientemente natural (de manera que la entonación sea adecuada).

También es habitual que los conversores texto-habla admitan un conjunto de símbolos especiales que marquen algunas zonas del mensaje que se necesita que queden enfatizadas. El conversor debe modificar su prosodia para conseguir que efectivamente esas zonas se perciban con un énfasis especial.

Y finalmente, por supuesto, dentro del conversor texto-habla reside lo que sí nos parece correcto denominar "sintetizador de voz". Se trata de un subsistema que va montando las secuencias acústicas que mejor encajan con la secuencia de alófonos y la prosodia que se debe de mantener según los análisis previos y marcas que pudiéramos haber tratado. Esta señal generada se amplifica y entrega a un altavoz que producirá el sonido que percibirá el usuario.

Por ahora, hemos relatado el camino principal que sigue la información, pero en la *figura 1* aparecen un conjunto de relaciones y un módulo más que aún no hemos comentado. Vamos a describirlos a continuación.

Por una parte, hemos obviado un módulo que no es necesario para realizar un sistema de diálogo, pero que produce un importante valor añadido a estos sistemas. Nos referimos al módulo de reconocimiento o identificación de hablante, debajo del reconocedor de habla. Su función, según se desprende de su nombre, es realizar una identificación de quién habla. Su utilidad en un sistema de diálogo es múltiple:

Como sistema de verificación, puede usarse para permitir o prohibir ciertas actividades en función de la identidad de la persona que utiliza el sistema. Hay que tener en mente que las tasas de verificación de identidad a través de medidas de habla no son ni mucho menos equivalentes a las que podemos obtener con otras técnicas biométricas (huella dactilar, iris, ADN, etc.), que se degradan cuando la población considerada crece y que un buen impostor lograría con cierta facilidad superar una verificación de habla. Esta problemática se agrava cuando disponemos solo de unos pocos segundos de habla en el diálogo para verificar si la identidad del hablante es una concreta.

Tras el relato de esta problemática, parece que se acaba de anular el interés del módulo de identificación del hablante. Hay otros factores que pueden inclinar la balanza en otro sentido. Desde luego, podemos utilizar verificación de la identidad no de manera aislada sino como adenda a algún otro tipo de verificación más segura (como solicitar al usuario un número de identificación personal o clave equivalente).

Pero no debemos perder de vista algunas aplicaciones en las que la identificación del hablante tiene un fuerte interés por sí misma. Este es el caso de un sistema de control de un entorno compartido por un conjunto limitado de usuarios. Se entiende que los usuarios del sistema son colaborativos y que no hay fuertes problemas de seguridad en el acceso a funciones del sistema. Un claro ejemplo es un sistema de diálogo para control domótico que utiliza una población ciertamente limitada (la familia y amigos que accedan a la casa). En estas condiciones, el sistema de identificación por habla puede realizar un buen trabajo.

El interés concreto aparece en la utilización de lo que se define como perfiles de usuario. Cuando un usuario se dirige al sistema de diálogo para solicitar alguna acción, el sistema no sólo comprende la intención sino que también sabe quién se lo ha pedido. Gracias a esta información extra, el sistema puede reaccionar y responder de manera más adecuada y adaptada a la persona que solicita la acción.

Surgen muchas ideas que aprovecharían esta información. Por ejemplo, la interpretación de una orden puede depender de la identidad del usuario. Esto es lo que en ergonomía de sistemas inteligentes se conoce también por personalización del interfaz. Por poner un ejemplo, cuando el sistema recibe la orden "enciende la luz", el sistema puede aprender que a un usuario le gusta que se encienda la luz indirecta del fondo y a otro la lámpara colocada sobre una mesa.

¿Cómo es capaz el sistema de aprender estas preferencias? Pues, simplemente a medida que se va utilizando. El sistema inicialmente tendrá vacío su conjunto de perfiles de usuario. Tras una intervención de un usuario concreto, el sistema guardará la relación entre atributos del entorno y valores concretos que ese usuario específico ha solicitado para esos atributos. La próxima vez que el mismo usuario plantee la misma orden, se sugerirá la misma acción. Por supuesto el

usuario puede admitir o no la sugerencia. El sistema volverá a apuntar la relación de lo que ha preferido esta vez, incrementando un contador de la relación adecuada. Cuando una de estas asociaciones se haya dado con suficiente frecuencia respecto a otras opciones, el sistema puede decidir ya realizar directamente la acción sin consultar, lo cual será percibido por el usuario con agrado dándole la impresión de manejar un sistema realmente inteligente que intenta adaptarse a sus preferencias. Por supuesto, el usuario puede corregir una decisión tomada por el sistema, circunstancia que debe ser aprovechada por el sistema para suavizar y retocar una vez más de manera adecuada el perfil de preferencias del usuario.

En un entorno controlado como el doméstico, la identificación de hablante es capaz de resolver pequeños problemas de seguridad como, por ejemplo, prohibir el acceso a los niños de la familia a ciertas funciones del entorno potencialmente peligrosas o no convenientes.

Otra aplicación importante es la adaptación del comportamiento del sistema de diálogo a las personas que lo utilizan. Si el usuario es un niño, no sólo los modelos acústicos y gramaticales de reconocimiento pueden ser los adaptados a niños, sino que el generador de respuesta puede utilizar expresiones más fácilmente interpretables por un niño. Incluso el estilo de expresión del sistema puede adaptarse en el caso de niños a ser más informal (llamarles de tú o utilizar directamente su nombre en las respuestas generadas), mientras que a adultos se puede dirigir de manera más formal (utilizando palabras como señor o señora y no directamente el nombre) y con expresiones más complejas. Finalmente a una persona muy mayor podría dirigirse manteniendo la formalidad de expresión junto con expresiones más claras que faciliten la comprensión o incluso hablándoles algo más alto y lento si la persona ha perdido audición o capacidad de comprensión. Una vez más, estas preferencias se pueden aprender y consignar en el perfil de usuario de cada uno de los usuarios habituales del sistema.

Con el resto de relaciones que aparecen en el diagrama de módulos, intentamos expresar los controles que el sistema de gestión de diálogo ejerce sobre todos los módulos de la arquitectura. Vamos a consignar la utilidad de estos controles.

El sistema de reconocimiento de habla recibe del sistema de gestión de diálogo la información de la expectativa que tiene el sistema de gestión sobre lo que el usuario puede decir o, como acabamos de mencionar recientemente, acerca de quién se espera que hable debido a que acaba de intervenir en un turno anterior. Esta previsión permite incentivar el uso de modelos acústicos y del lenguaje adaptados a qué se espera que se pueda decir o quién se espera que intervenga. Por supuesto, cuando no haya previsión, se dispondrá de modelos más genéricos adaptados a esta circunstancia para poder comenzar un nuevo diálogo.

Intentando ejemplificar este extremo, si el sistema estaba dialogando con una persona concreta del entorno familiar dándole la opción entre abrir una ventana o conectar el aire acondicionado debido a un comentario de la persona en cuestión al sistema de diálogo sobre que la temperatura ha subido mucho, el reconocedor de habla se puede preparar con los modelos acústicos adaptados a la persona concreta y con modelos de lenguaje que incentiven el reconocimiento de las frases relacionadas con las respuestas posibles.

De la misma manera, el sistema de gestión de diálogo puede modular el comportamiento del sistema de comprensión de habla, incentivando interpretaciones congruentes con las respuestas esperadas a la pregunta realizada.

El control del sistema de gestión del diálogo puede ejercerse también sobre los sistemas de generación de respuesta y el conversor texto-habla para modular su comportamiento adaptándose a la persona interlocutora, como hemos comentado antes, o incluso bajo iniciativa propia del sistema modificando el tono y ritmo de voz, por ejemplo, ante el caso de tener que informar sobre un evento urgente en el entorno domótico. O bien adaptarse al ruido ambiente para imponerse por encima de él cuando sea necesario o utilizar una voz menos energética durante la noche.

2.2 Algunos detalles sobre los módulos de la arquitectura

2.2.1 Reconocimiento de habla

El reconocimiento de habla se resuelve con algoritmos de búsqueda complejos que necesitan ser alimentados por distintas fuentes de información:

- *Transcripción de las palabras en alófonos.* La unidad de reconocimiento hoy en día es la palabra, lo cuál significa que el resultado pretendido y la búsqueda que se realiza es la mejor secuencia de palabras que representa a la señal acústica en cuestión. Sin embargo, los modelos acústicos base son los alófonos (distintas realizaciones acústicamente distinguibles de los fonemas), para conseguir tener un inventario limitado y no tener que disponer de un modelo para cada una de las palabras activas en una aplicación real. Un módulo llamado transcriptor grafema (es decir, el signo escrito de la palabra) a alófonos se encarga de generar la secuencia de alófonos que construye cada una de las palabras. En castellano, esta transcripción es bastante directa debido a la fuerte correspondencia entre letras y fonemas y bastante fácil entre secuencias de fonemas y alófonos. Es importante conocer la importancia de consignar diversas pronunciaciones alternativas para cada palabra en función de efectos culturales y de costumbre que hacen que diversos locutores pronuncien de distinta manera la misma palabra. También es importante disponer de distintos modelos para distintos usuarios, no necesariamente uno por cada usuario individual, sino uno para cada clase de usuario (gracias a un agrupamiento de voces), utilizando el más adaptado al que nos recomienda un clasificador previo del locutor (o el sistema de identificación del locutor de la arquitectura).
- *Modelo del lenguaje.* En esta parte se consigna la probabilidad de las secuencias de palabras de manera que los algoritmos de búsqueda la utilizan como restricción al plantear la búsqueda de la secuencia. Cada aplicación y, dentro de cada aplicación, cada turno de diálogo debe de tener un modelo distinto del lenguaje que incentive las intervenciones esperadas del usuario.

El resultado de reconocimiento puede ser tanto una única secuencia de palabras (la frase más probable) como un conjunto de las mejores hipótesis de reconocimiento (un conjunto de frases compuesto por la más probable y las frases que siguen a esta en probabilidad, cada una de ellas con alguna diferencia en la secuencia de palabras reconocida) o éstas compiladas en forma de grafo de hipótesis que es una manera compactada de expresar un conjunto de las mejores hipótesis de reconocimiento.

En los casos en los que entregamos más de una hipótesis del resultado de reconocimiento, el sistema de comprensión puede utilizar alguna de las alternativas si la interpretación es más satisfactoria que la extraída de la solución de reconocimiento teóricamente más probable y corregir ciertos problemas de reconocimiento con conocimiento más elaborado (sintáctico-semántico) como el que maneja el sistema de comprensión.

Existen importantes esfuerzos dedicados a reconocer lo que se conoce como habla lejana. Los reconocedores actuales funcionan con tasas muy razonables utilizando micrófonos cercanos a la boca del usuario (como ocurre cuando éste se comunica a través de un teléfono). Sin embargo, las tasas de reconocimiento se deterioran rápidamente cuando intentamos reconocer el habla recogida por un micrófono más alejado. La casuística en que ocurre esta situación es múltiple e interesante. Un ejemplo sería el manejo de un sistema en un coche que disponga de un micrófono situado en algún punto concreto, pero desde luego no cercano a la boca. Otro ejemplo es el entorno doméstico donde no es deseable que el usuario se tenga que acercar a hablar a un micrófono. La solución más ergonómica es disponer un micrófono (o un conjunto de micrófonos) en algún punto estratégico (quizás en el techo).

Los problemas con el habla lejana son la adición de más ruido (el empobrecimiento de la relación señal a ruido), y la aparición de una modulación espectral (convolución con la respuesta espectral del canal) debido al camino seguido por la señal hasta alcanzar el micrófono más la adición de múltiples réplicas de la misma señal debido a la reverberación observada entre el usuario y el micrófono. Para empeorar las cosas, estas distorsiones son variables en cada uno de los puntos en que en cada momento pueda estar el hablante.

Las técnicas que intentan contener contra los problemas del habla lejana son una mezcla de limpieza de distorsión aditiva y convolutiva con técnicas para eliminar la reverberación, muchas veces utilizando grupos de micrófonos en vez de uno solo.

Algo sobre lo que aún no existen soluciones reconocidas es el reconocimiento no sólo de la frase pronunciada sino también de la emoción con que se ha pronunciado. Sería muy importante para detectar, por ejemplo, que el usuario se está enfadando, muy probablemente debido a que el comportamiento del sistema no sea el más acertado a la circunstancia o intención real del usuario.

2.2.2 Reconocimiento del hablante

En reconocimiento del hablante se distinguen tradicionalmente dos tareas: identificación del locutor y verificación del locutor. En identificación del locutor, suponemos que nos encontramos con un conjunto finito de posibles locutores y la tarea consiste en decidir cuál de ellos está hablando. En verificación del locutor, sin embargo, la tarea es verificar la identidad del locutor, es decir, decidir si es verdad o no que el locutor es quien dice ser.

Para asentar más estos conceptos, podemos relacionarlos de la siguiente manera: verificación del locutor es como identificación de voz frente al universo total de posibles hablantes, impostores incluidos. Por esta razón, es una tarea mucho más delicada que la identificación de locutor, que siempre se efectuará entre un conjunto más limitado.

Como hemos discutido más arriba, en los sistemas de diálogo la aplicación más directa es la identificación del locutor y cuando intentamos verificar, en la mayor parte de las ocasiones realmente realizamos una tarea de identificación entre el conjunto limitado de locutores que el sistema conoce.

Estos sistemas se basan en modelos acústicos específicos para cada locutor y en el caso de la verificación, en la adición de un modelo general. Las decisiones se suelen basar en comparación (cociente) de verosimilitudes (evaluaciones de funciones densidad de probabilidad para los vectores observados). En el caso de la identificación, se elige como identidad la del modelo con mayor verosimilitud y para verificar una identidad se exige la superación de un umbral en el cociente entre el modelo del usuario que dice ser y el modelo general. En el primer caso se devuelve un identificador del locutor identificado y en el segundo una decisión o una probabilidad de que el usuario sea quien dice ser.

2.2.3 Comprensión del lenguaje natural

La comprensión del lenguaje natural se realiza con un conjunto de procesos que vamos a intentar simplificar dando sólo las pinceladas esenciales.

En primer lugar se suele recurrir a una categorización (a un etiquetado) de cada una de las palabras reconocidas con una serie de categorías sintáctico-semánticas. Esto se realiza, por ejemplo, utilizando un vocabulario etiquetado en el que cada una de las palabras tiene una o varias etiquetas asociadas. Las categorías (etiquetas) no son las típicas categorías gramaticales (verbo, nombre, adjetivo, adverbio, etc.), sino unas etiquetas que designan tanto la función gramatical de la palabra como la función semántica o más bien pragmática, es decir, la semántica restringida al entorno de aplicación, lo que esa palabra puede significar en una aplicación concreta y no en general. Por ejemplo, la palabra "pon" puede estar etiquetada como "acción de encendido" en un entorno doméstico en el que la única acepción razonable es ésta, porque el sistema no pueda colocar físicamente objetos en ciertas posiciones, como jndicaría otra posible acepción general para esta palabra.

Es muy frecuente que una misma palabra se etiquete con diversas categorías cuando, sin más información, esa palabra pueda aportar distintos significados. Otras muchas palabras son etiquetadas como "sin significado" si no son necesarias para realizar la interpretación de una frase. Finalmente, algunas palabras tienen tanto categorías significativas como al mismo tiempo la etiqueta "sin significado", debido que en ciertas circunstancias puedan no ser relevantes a la interpretación y en otras ocasiones sí lo sean.

El siguiente trabajo es precisamente de desambiguación de las palabras que contengan diversas etiquetas al observar el conjunto de palabras existentes en la frase (el contexto).

Finalmente, el trabajo que queda es ir agrupando e interpretando trozos de la frase (lo que se denomina análisis relajado o análisis por islas), acumulando los pares atributo-valor que se van consiguiendo en un mismo marco semántico, que se enviará al gestor de diálogo.

Este tipo de análisis por islas o por zonas interpretables es muy recomendable en aplicaciones de habla, y diferente a los análisis que típicamente se proponen en aplicaciones de análisis de texto

escrito donde se persigue más la interpretación cumpliendo un análisis global y completo de toda la frase. La razón es que en sistemas hablados, el reconocedor puede cometer errores en su transcripción y de forma más común en palabras cortas de débil contenido semántico, como "de", "la", "en", "a", etc., que rompen cualquier intento de construir un análisis completo de la frase. Dicho de otra manera, un sistema de interacción hablada debe ser robusto frente a los errores del reconocedor de habla que, pese a que son frecuentes, no tienen por qué ser relevantes para la correcta interpretación semántica de la frase.

La tecnología que subyace y que soluciona las tareas que hemos comentado como constituyentes de un sistema de comprensión de habla, es frecuentemente el análisis con reglas dependientes de contexto. Son reglas que examinan la existencia de un cierto contexto y son capaces de ejecutar una determinada acción, típicamente de re-escritura de contenidos y re-etiquetado de los nuevos ítems conseguidos con categorías intermedias de trabajo del módulo o con etiquetas finales asociadas a los atributos (conceptos) extraídos.

Como hemos comentado más arriba, la interpretación puede depender de otras variables presentes en el diálogo como el estado del sistema, el conocimiento de la persona que habla o la modulación por parte del sistema de gestión de diálogo respecto a la información esperada del usuario, dado el estado del diálogo.

2.2.4 Gestión de diálogo

Los sistemas de gestión de diálogo se construyen siguiendo diversas filosofías. La más común es definir que un diálogo se puede considerar modelable con un autómata de estados finitos. Esto quiere decir que el diálogo se sigue como transiciones entre los distintos estados que lo describen. Esto exige una fuerte inversión temporal y económica por parte de expertos que diseñan los contenidos y las transiciones entre los estados de diálogo.

Una nueva tendencia en investigación lleva a una definición más conveniente del diálogo como la interacción con un sistema de inferencia, que permita en primera instancia deducir el objetivo más probable que aparece del registro de la información adquirida durante todo el diálogo, junto con la información conseguida en la última interacción con el usuario, seguida de un análisis de la congruencia entre ese objetivo y la información presente o ausente que permita decidir la mejor acción a realizar a continuación. En este campo se investiga con la utilización de técnicas como las redes bayesianas de creencia (*bayesian belief networks*) que permiten dicha inferencia directa de objetivos e inversa de los conceptos relacionados con los objetivos.

2.2.5 Generación de respuesta natural

La generación de respuesta sigue un modelo de lenguaje de fondo que permite a este módulo conocer las formas de construir frases válidas en el entorno de aplicación. A veces se reduce a un inventario de plantillas compuestas de palabras ya escritas, junto con variables en las que se introducen las palabras que correspondan a la información concreta a transmitir al usuario.

Como ya hemos señalado antes, es importante disponer de cierta variabilidad de expresión, es decir, de diversas frases alternativas que transporten el mismo significado entre las cuales se elige una cada vez que se ejecuta el módulo.

Sin embargo, también hay que ser consciente de que a veces, ciertos tipos de información conviene expresarlos utilizando una construcción concreta fija de la frase para no despistar al usuario. Un ejemplo típico de este caso aparece cuando tenemos que informar al usuario sobre un grupo de opciones complejas para que elija una. Imaginemos que, como producto de una consulta del usuario sobre trenes entre Madrid y Barcelona los viernes por la noche, obtenemos ocho posibilidades. Desde luego, es responsabilidad una vez más del gestor de diálogo el seccionar esta información en grupos tratables, digamos de tres en tres opciones. Pues bien, suele ser muy recomendable transmitir estos grupos de información al usuario con un mismo tipo de frase, por ejemplo, mencionando siempre en el mismo orden el tipo de tren, la hora de salida y la de llegada. Si empezamos a girar los datos de manera descontrolada cada vez que hablamos de una opción, en vez de conseguir una impresión de más naturalidad, podemos conseguir confundir y molestar al usuario dificultando su tarea de selección.

2.2.6 Conversión de texto a habla

Como hemos dejado translucir en la descripción de la arquitectura, este módulo contiene varios sub-módulos componentes. En cabeza encontramos los módulos más lingüísticos cuya responsabilidad es realizar los análisis oportunos para describir tanto la secuencia de sonidos básicos que construyen el texto determinado como las características de prosodia que modifican la intensidad, el tono y la duración de cada sonido.

Son importantes conceptos como el ritmo y el pausado correcto de las frases (que no viene especificado en el texto y que hay que generar explícitamente). Esta parte del sistema utiliza un gran conjunto de técnicas básicas que van desde el análisis sintáctico (realizable en este caso de manera más precisa que el que hemos comentado para el sistema de comprensión de habla, ya que el texto escrito de origen tiene menos problemas de construcción que el texto que obteníamos en aquel caso procedente de un reconocedor de habla), hasta modelos neuronales de entonación.

Finalmente encontramos el sintetizador de voz propiamente dicho, que construye la señal que finalmente se entregará al altavoz del sistema. Hoy en día, este módulo se basa en la unión de unidades básicas (que pueden ser alófonos, conjuntos de alófonos, palabras u otros trozos completos que se encuentran en una base de datos grabada) con las modificaciones espectrales y temporales necesarias.

No debemos olvidar la mención de algunos aspectos tecnológicos que estamos tratando en la actualidad y que son muy relevantes para los sistemas de diálogo. Nos referimos a temas como el trabajo con múltiples voces o con voces que expresan emociones.

En un sistema de diálogo puede ser una característica muy interesante el disponer de diversas voces, por ejemplo, identificando cada voz con un conjunto de tareas entre las que puede realizar el sistema. La impresión que se da a los usuarios es la de disponer de un conjunto de expertos y que cada uno le responde cuando realiza un tipo concreto de actividades.

Las emociones pueden ser importantes en aplicaciones en que deseemos añadir un cierto estado de ánimo al comportamiento del sistema. Por ejemplo, un robot que nos guíe en la visita a una

feria y que ofrezca una interacción simpática con los usuarios, simulando alegría cuando cuenta un chiste, enfado cuando alguien le obstaculiza en su labor o tristeza cuando nadie le atiende o se encuentra con la batería baja y pide que le enchufen para recargarla.

También, como ya hemos referido anteriormente, de forma parecida a las emociones, podemos utilizar diversos estilos de expresión para distintos usuarios, más formal para adultos y más informal o divertido para los niños.

Otra idea sería utilizar voz con expresión sorpresiva tras una corrección por parte del usuario sobre una acción tomada siguiendo el perfil de preferencias de dicho usuario.

3. Metodología de diseño

La labor de diseño de un sistema de diálogo implica, según ya hemos mencionado, el trabajo de expertos siguiendo una metodología que describimos brevemente a continuación.

Para construir un sistema de diálogo, lo mejor que nos puede suceder es que podamos observar diálogos reales entre humanos semejantes al sistema que deseamos realizar. Esto se materializa en obtener grabaciones de interacciones entre humanos en condiciones semejantes. De las grabaciones (trabajadas por los expertos con las herramientas adecuadas) se aprenden muchos factores relevantes al diseño del sistema de diálogo como: vocabulario típico de la aplicación, modelo del lenguaje, objetivos perseguidos, en qué orden se definen los parámetros en una intervención, maneras típicas de presentación de soluciones, etc. Esto es lo que se puede denominar comienzo del diseño por observación.

Tras la observación de diálogos reales (si es posible), la construcción del sistema de diálogo continúa típicamente con un diseño por intuición en que definimos objetivos posibles de diálogo, conceptos asociados y modelos de interacción con los que empezamos a rellenar de información los módulos de la arquitectura.

De manera necesaria, este diseño inicial debe ser comprobado con usuarios reales que evalúan el sistema al mismo tiempo que los diseñadores observan las zonas incorrectamente resueltas y van haciendo progresar el comportamiento del sistema al esperado.

En las primeras fases, puede ser que no todos los módulos de la arquitectura estén resueltos y entonces acudimos a los que se denomina diseño bajo el concepto de mago de Oz. Es decir, cada módulo inexistente (típicamente el módulo de reconocimiento, el de comprensión y el de gestión de diálogo son los más difíciles de tener resueltos en fases iniciales del diseño) se substituye por una persona que simula su comportamiento y de esta manera se van capturando diversas interacciones que nos permiten aprender mucho respecto a cómo rellenar de la información más adecuada los módulos aún no diseñados.

4. Evaluación de sistemas de diálogo

En el diseño de sistemas de diálogo, como en otras muchas facetas tecnológicas, es esencial la evaluación del rendimiento real del sistema y sobre todo, estar muy atentos a cómo dicho rendimiento teórico es realmente percibido por los usuarios a los que va dirigido.

En la evaluación de sistemas de diálogo se miden tanto factores objetivos (la tasa de reconocimiento, el número medio de turnos de diálogo y su duración para conseguir un objetivo o la tasa de diálogos con éxito, es decir, que han llevado al usuario a conseguir un objetivo completo) como factores más subjetivos, pero realmente importantes, como la percepción de la calidad y naturalidad de la síntesis de voz o de los mensajes producidos en cuanto a su calidad, naturalidad y oportunidad, la capacidad del sistema de reaccionar frente a errores de reconocimiento o comprensión, el grado general de satisfacción de los usuarios o la rigidez o dinamismo percibido durante la interacción.

Muchas veces estas medidas tienen más sentido como comparación entre estrategias alternativas (lo cual lógicamente ayuda mucho a realizar decisiones de diseño), que como evaluación puntual y aislada de un sistema de diálogo, donde siempre es difícil determinar umbrales a partir de los cuales se pueda definir que el sistema es aceptable.

Lo que hay que tener siempre en mente es que, más allá de las evaluaciones independientes e individuales de cada uno de los módulos de la arquitectura, el mayor peso lo debemos derivar al comportamiento conjunto de los módulos que constituyen el sistema de diálogo. Este aspecto a menudo se denomina evaluación como caja negra. Es decir, todo el sistema se evalúa como un todo en la interacción con los usuarios, descubriendo las debilidades manifiestas sin prestar demasiada atención a cómo está constituido internamente el sistema completo y resolviéndolas a posteriori en los módulos más relacionados con ese comportamiento.

Por ejemplo, en muchos casos, una buena estrategia de comprensión o de gestión de diálogo oculta tasas relativamente pobres del sistema de reconocimiento de habla, más difícilmente salvables o de mayor coste de reparación.

5. Aplicaciones

Al describir las posibles aplicaciones de la tecnología de interacción hablada con máquinas surge una gran abanico de ideas que atraen la atención tanto de los investigadores como de los actores empresariales del sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones, además de otros sectores relacionados o que hacen uso de éstas.

Sin pretender ser exhaustivos, vamos a mencionar un conjunto de posibles aplicaciones:

- Los sistemas de diálogo encontraron su aplicación más directa en sistemas puramente telefónicos de atención a usuarios con distintos fines:

- Información variada y reserva de billetes y entradas.
- Banca telefónica.
- Atención especializada a clientes, como en sistemas de mantenimiento que encaminan la cuestión formulada por el cliente a un técnico disponible que pueda atenderla.
- Aprovechando las posibilidades ofrecidas por Internet, surgió otro conjunto de aplicaciones bajo la denominación de portales de voz que consiguen un nuevo camino de acceso a través de canales de voz (también típicamente telefónica) reproduciendo las ideas del punto anterior.
- También se han diseñado sistemas de diálogo embarcados en plataformas robóticas móviles con el fin de que se comporten como guías para ferias.
- Hay un interés creciente, dentro del concepto en boga de inteligencia ambiental, en dotar, tanto a entornos domóticos como a otros entornos, de sistemas con capacidad de interacción hablada. La propuesta de este tipo de sistema se suele apoyar también en la representación gráfica de avatares o agentes gráficos animados que escenifican a ayudantes personales que pueden acompañar a una persona en su hogar, le siguen en su automóvil, en su PDA o en su entorno de trabajo y le ayudan con diversas tareas de gestión de estos diversos entornos, aprovechando también las capacidades gráficas para la interacción multimodal (presentando gráficos, recogiendo otro tipo de entradas como, por ejemplo, señalar sobre una pantalla táctil, etc.). Se podrían responder requerimientos sobre:
 - Control domótico.
 - Navegación del automóvil.
 - Agenda personal.

Capítulo 9

Dispositivos portátiles y usabilidad

Javier I. Portillo García y Noelia Carretero de los Ángeles

ETS Ingenieros de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

<http://www.ceditec.etsit.upm.es>

1. Introducción (238)

2. Teléfonos móviles (239)

- 2.1. El mercado de los teléfonos móviles (239)
- 2.2. Tecnologías de telefonía móvil (240)
- 2.3. Aplicaciones y servicios (243)
- 2.4. Terminales móviles (246)

3. Smartphones (248)

- 3.1. El mercado de los smartphones (248)
- 3.2. Los sistemas operativos de los Smartphones (250)
- 3.3. Ejemplos de smartphones (253)

4. PDAs (256)

- 4.1. El mercado de los PDAs (256)
- 4.2. Los sistemas operativos de los PDA (258)
- 4.3. Ejemplos de PDA (259)

5. Otros dispositivos portátiles (260)

- 5.1. Jukeboxes (261)
- 5.2. Dispositivos GPS (263)
- 5.3. Tablet PC (264)

6. Usabilidad (265)

- 6.1. Concepto de usabilidad (265)
- 6.2. Evaluación de la usabilidad (266)
- 6.3. La usabilidad y los dispositivos móviles (267)
- 6.4. Recomendaciones para mejorar la usabilidad de los dispositivos móviles (273)

7. Referencias (278)

1. Introducción

Hace algunos años, era difícil encontrar a alguien con móvil. Hoy en día, ya no se pregunta "¿Tienes móvil?", sino que se dice directamente "dame tu número de móvil". El teléfono móvil ha pasado a ser un dispositivo cotidiano utilizado por muchísimas personas de toda edad, formación, nivel económico, etc. Evidentemente, se puede vivir sin móvil, pero la capacidad de estar permanentemente comunicado es algo que tiene mucho valor. Sólo los tecnófobos más recalcitrantes insisten en considerarlo un artefacto superfluo.

El teléfono móvil es sólo un representante de los denominados dispositivos portátiles o dispositivos móviles. Estos dispositivos encierran, en aparatos de tamaño no superior a una mano, una gran cantidad de tecnología y permiten estar siempre conectado (vía telefonía, correo electrónico o acceso a Internet), organizar los asuntos personales y profesionales (mediante los gestores de información personal), estar siempre orientado u organizar los desplazamientos (mediante los dispositivos GPS portátiles) o incluso entretenerse un rato (oír música, leer libros electrónicos o ver video).

Las ventas de dispositivos móviles se han incrementado de forma espectacular en los últimos años. De los primeros teléfonos móviles analógicos pasamos a los teléfonos GSM, luego a los GPRS y actualmente, dando sus primeros pasos, los UMTS. Los teléfonos móviles se han ido convirtiendo además en dispositivos cada vez más versátiles, adquiriendo capacidades de datos (correo electrónico y acceso a Internet), de juegos, de fotografía, y muchas más, hasta desembocar en el moderno concepto de teléfono inteligente o *smartphone*, a medio camino entre teléfono móvil y PDA.

Los Asistentes Personales Digitales, o PDA, han pasado de ser dispositivos de capacidades muy limitadas a ser pequeños ordenadores "de mano", algunos con procesadores más rápidos que los PC de sobremesa de hace algunos años. Permiten ejecutar una gran variedad de aplicaciones de todo tipo, incluso visualizar y editar documentos de *Microsoft Office*, reproducir archivos de audio y video, visualizar imágenes, organizar citas, tareas, contactos, etc. Además, a través de los módulos y tarjetas de ampliación, un PDA se puede transformar en un teléfono móvil, un dispositivo GPS, una cámara fotográfica, etc.

En el estadio previo al ordenador personal, está el *Tablet PC*, que es un ordenador parecido a un portátil, con pantalla algo más pequeña (suele ser de 10 o 12", aunque hay modelos de 14"), en los que la pantalla se puede dar la vuelta y convertir el dispositivo en una tableta. Disponen de conectividad inalámbrica completa y trabajan con el sistema operativo *Windows XP Tablet PC Edition*, que, entre otras cosas, posee un software de reconocimiento de escritura manual. Para ello disponen de un puntero tipo lápiz con el que se puede escribir en la pantalla, que es táctil.

Por último, tenemos los *jukeboxes*, un conjunto de dispositivos más especializados, orientados fundamentalmente al ocio y al entretenimiento. Combinan en un dispositivo un disco duro (actualmente los hay de hasta 100 Gb), una pantalla en color y un reproductor de audio y video. Algunos modelos, como las series 300 y 400 de *Archos*, permiten la grabación directa en el propio dispositivo desde una fuente de video y otros, como el *Gmini*, también de *Archos*, incorpora además el estándar *Mophun* para juegos multimedia.

Cierto es que el parque de dispositivos móviles, de sus capacidades y de sus prestaciones crece sin cesar. Pero esto es a costa de un incremento en la complejidad. Por ejemplo, un *smartphone* puede ser capaz de realizar, entre otras, aplicaciones de:

- Telefonía móvil.
- Acceso a Internet.
- Gestión de citas.
- Gestión de contactos.
- Reproductor MP3.
- Visualizador y editor de archivos *Word*.
- Visualizador y editor de archivos *Excel*.
- Visualizador de archivos *Adobe PDF*.
- Cámara fotográfica.

El manejo de un dispositivo como este puede llegar a ser extremadamente complejo, incluso para una persona habituada a estos dispositivos. De todas formas, no hace falta irse a un dispositivo tan versátil. Muchas personas utilizan el teléfono móvil sólo para llamar y recibir llamadas y, o bien ignoran otras posibilidades del dispositivo (como la gestión de contactos o de tareas), o no las saben usar, o su uso les parece muy complicado. Cada día va siendo más importante incorporar aspectos de *usabilidad* en el diseño de los propios dispositivos, de la forma de comunicarse con los usuarios y de los servicios que ofrecen.

En las líneas que siguen presentaremos las características principales de las grandes familias de dispositivos móviles, y hablaremos también del estado del mercado de dichos dispositivos. Terminaremos con una última sección dedicada a la usabilidad de dichos dispositivos.

2. Teléfonos móviles

2.1 El mercado de los teléfonos móviles

En los últimos años, el teléfono móvil se ha convertido en un dispositivo omnipresente en nuestras vidas. Personas de todas las edades y culturas han aprendido a utilizarlo e incluirlo en su vida cotidiana, por no hablar de los beneficios que ha reportado a los profesionales de todos los campos a la hora de realizar su trabajo.

Buen ejemplo de este fenómeno de inmersión del móvil en nuestras vidas lo ofrecen los datos sobre las ventas de terminales móviles en todo el mundo. Según un informe de IDATE, las ventas mundiales de terminales móviles han aumentado en los primeros nueve meses del 2004 un 32%, alcanzando la cifra de 450 millones de terminales vendidos. Este espectacular crecimiento se ha debido entre otros factores al despegue de ciertos mercados emergentes, como India o Latinoamérica, y a la gran "moda" de reemplazos de terminales surgida en los mercados maduros, estimulada por las nuevas características y servicios avanzados que ofrecen los nuevos terminales tales como las pantallas en color, las cámaras integradas o los reproductores MP3.

Analizando las cuotas de mercado obtenidas por los fabricantes de terminales móviles en los últimos meses, resumidas en la Tabla 1, destaca el hecho de que *Nokia*, aún manteniéndose en

primera posición con una cuota de mercado que alcanza actualmente el 31.4%, es sin embargo, la única empresa que ha visto disminuida su cuota. Este fenómeno está causado por el fuerte crecimiento de ventas conseguido por sus empresas competidoras, como *LG*, que ha tenido un crecimiento de ventas del 65%, *Samsung* un 63% o *Sony-Ericsson* un 56%, frente al crecimiento del 13% obtenido por *Nokia*.

T 1. EL MERCADO DE TERMINALES - MESES DE ENERO A SEPTIEMBRE

Fabricante	2003 (9 meses)(*)	2004 (9 meses)(*)	Evolución puesto
Nokia	36,8%	31,4%	-
Motorola	15,5%	16,2%	-
Samsung	11,8%	14,6%	-
Siemens	8,3%	8,5%	-
LG	5,4%	6,8%	+1
Sony Ericsson	5,6%	6,6%	-1
Otros	16,6%	15,9%	

(*) en unidades

En el caso concreto de España, los datos referentes al mismo periodo del 2004 reflejan un aumento del 30% en el número de terminales móviles comercializados, respecto a los datos del mismo periodo del año anterior, lo cual supone una cifra de 9,9 millones de teléfonos móviles vendidos en este periodo.

La tecnología 3G ya es un hecho. Por tanto, todos los fabricantes de móviles están lanzando modelos compatibles con ella. No obstante, la mayor penetración de 3G en Corea y los altos niveles de rotación de teléfonos que presenta este país está favoreciendo a las compañías coreanas *Samsung* y *LG* en la carrera por el mercado de los teléfonos de banda ancha.

Según diferentes fuentes se estima que a finales de 2004 habrá 1.379 millones de abonados a teléfonos móviles en todo el mundo, un mercado que ha crecido un 186% en los últimos cinco años. China, con casi 300 millones de abonados se ha convertido en el mercado más importante del planeta, seguido de Estados Unidos con 164 millones, Japón con 82 y Alemania con 64,4 millones.

2.2 Tecnologías de telefonía móvil

Desde que en 1982, la Comisión Europea de Administraciones Postales y de Telecomunicaciones creara el *Groupe Special Móvile* (GSM), para desarrollar un sistema de telefonía celular que pudiera operar en todo el mercado europeo, los avances en este ámbito no se han detenido.

Las requisitos pensados para el desarrollo del primer estándar exigían, entre otras cosas, que la tecnología utilizada fuera digital, con gran capacidad de tráfico, servicios básicos de voz y datos, itinerancia internacional dentro de los países de la CE, utilización de teléfonos portátiles, calidades altas de cobertura y de señal recibida, encriptación en la transmisión y terminales personalizables. Como resultado de este estudio, en 1991 surgió el estándar GSM o *Global System for Mobile Communications* (también llamado de segunda generación o 2G), utilizado de forma masiva todavía en nuestros días.

La evolución de las comunicaciones móviles continuó y surgieron los estándares 2.5G (HSCSD, GPRS, EDGE) que harían de puente entre los de segunda generación y la telefonía móvil de tercera generación (UMTS).

Una vez hecha una revisión de la evolución histórica de las comunicaciones móviles se describirán en los siguientes epígrafes las diferentes tecnologías mencionadas.

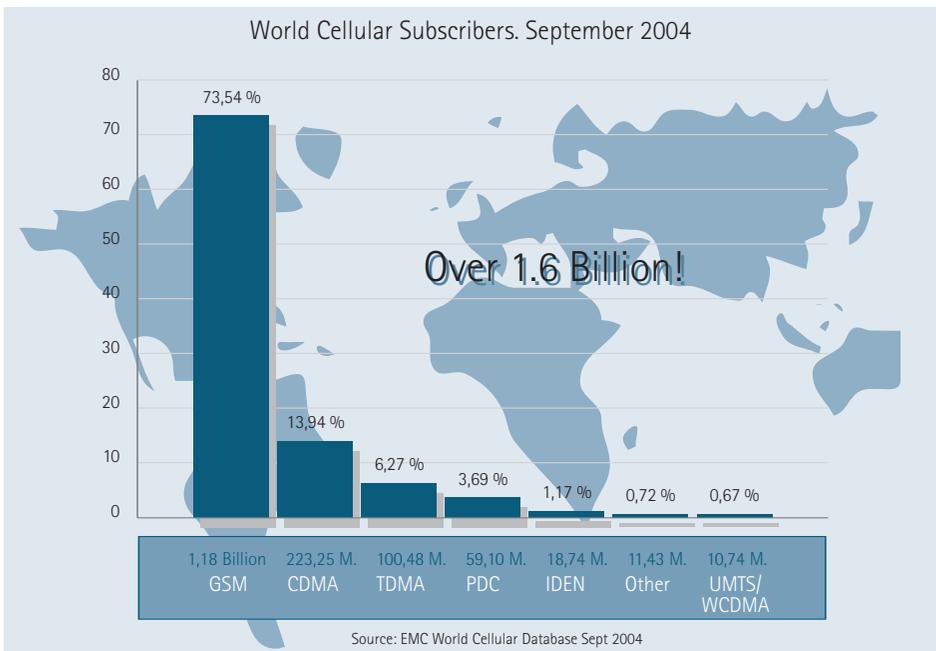
2.2.1 GSM

El sistema GSM pertenece al grupo de las tecnologías digitales de telefonía móvil de segunda generación (2G). Esta tecnología presta tanto servicios de voz de alta calidad, como servicios de datos, que permiten el envío y la recepción de mensajes cortos de texto (SMS) y un acceso básico a Internet vía WAP.

Es una tecnología que basa su funcionamiento en la conmutación de circuitos en una amplia gama de bandas de espectro, entre las cuales se encuentran las de 450, 850, 900, 1.800 y 1.900 MHz. Además, GSM utiliza una variación del acceso múltiple por división en tiempo (TDMA), consiguiendo así un uso efectivo del espectro y ofreciendo una capacidad siete veces mayor que la tecnología analógica (1G).

Gracias a que GSM es una norma abierta, es posible que cualquier fabricante produzca equipos compatibles, y por tanto, se ha conseguido que ésta sea la tecnología inalámbrica más ampliamente disponible. GSM cuenta con más de mil millones de usuarios, lo que corresponde con el 72% de los usuarios de tecnologías inalámbricas del mundo. Su ventaja sobre otras tecnologías queda patente al observar su número de usuarios, como refleja la siguiente figura.

FIGURA 1. *Número de usuarios de la telefonía móvil en el mundo.*



La red GSM presenta varias limitaciones para ofrecer servicios de datos de alta calidad, fundamentalmente en el caso de los servicios de Internet. Estas limitaciones son principalmente dos: la velocidad de transmisión de datos que permite GSM es 9,6 Kbps, la cual resulta insuficiente; y por otro lado, la tarificación de los servicios de datos en GSM se realiza en función del tiempo de conexión. Por tanto, han surgido tecnologías de telefonía móvil posteriores para solucionar estas limitaciones.

2.2.2 GPRS

Debido al retraso sufrido en la implantación del sistema de tercera generación UMTS, ha surgido una nueva tecnología que ha hecho de paso intermedio entre la 2G y la 3G. Esta tecnología se ha denominado GPRS (*Global Packet Radio System*) o generación 2.5G de telefonía móvil.

GPRS es una tecnología inalámbrica para datos basada en la conmutación de paquetes sobre la red GSM. Este tipo de transmisión también es conocida con el nombre de GSM-IP, ya que permite una adecuada integración de los protocolos de Internet TCP/IP con la red móvil instalada GSM.

La tecnología GPRS supera a la GSM aumentando la velocidad de transmisión hasta 115 Kbps. Además, al estar basada en el estándar GSM, GPRS funcionará donde los terminales GSM funcionen. Por otra parte, este nuevo sistema, al permitir estar siempre conectado, elimina el coste por conexión y permite facturar al usuario en función del tamaño de la información enviada o recibida.

Gracias a las características de velocidad y capacidad que ofrece, GPRS se ha convertido en el medio ideal para servicios avanzados de datos tales como WAP o mensajería multimedia (MMS). Además, con el incremento de ancho de banda de GPRS el usuario tiene acceso a una navegación web más avanzada, donde se disponen de servicios tales como *e-commerce*, *e-mail* o banca electrónica.

Para aumentar el rendimiento y la capacidad de GPRS aún más, los operadores pueden desplegar la tecnología EDGE. Esta tecnología incrementa las velocidades sobre GPRS alcanzando velocidades de hasta 384 Kbps. Ésta es una tecnología de acceso perteneciente a la familia de IMT-2000.

2.2.3 UMTS

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es un sistema de telecomunicaciones, llamado de tercera generación, basado en WCDMA-DS, que es una tecnología de acceso radio CDMA de banda ancha. UMTS es el miembro europeo de la familia IMT-2000 de los estándares de telefonía móvil 3G.

Es una tecnología basada en paquetes, lo cual permite que la tarificación de los servicios de datos se haga por cantidad de información transmitida y no por tiempo de conexión, ya que UMTS ofrece una conexión permanente. Esta tecnología es compatible con sistemas EDGE y

GPRS, de tal manera que en las áreas donde no existe aún cobertura UMTS, los servicios conmutan a una de esas dos tecnologías.

La tecnología UMTS soporta velocidades pico de 2 Mbps y de 384 Kbps cuando el usuario está en movimiento. Gracias a ello, puede proporcionar servicios avanzados de datos tales como el *streaming* de audio y vídeo, el acceso rápido a Internet o la descarga de archivos de gran tamaño.

Esta nueva tecnología permite todo tipo de comunicaciones, como videoconferencia y servicios multimedia, transmisión de imágenes de video en movimiento y sonido de alta fidelidad por redes móviles, correo electrónico, operaciones bancarias, publicidad personalizada, almacenamiento de información empresarial e incluso activación a distancia de ordenadores y electrodomésticos con tecnología *Bluetooth*. De hecho, los principales operadores están firmando acuerdos con los proveedores de contenidos para ofrecer una amplia gama de artículos y servicios a los consumidores.

2.2.4 HSDPA

La tecnología UMTS permite varias optimizaciones que mejoran su capacidad y amplían las posibilidades de sus aplicaciones. Una de estas tecnologías optimizadas es HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Esta tecnología se encuentra recogida dentro de las especificaciones del 3GPP Release 5.

El sistema HSDPA aumenta las velocidades de datos de UMTS, ofreciendo una velocidad de pico teórica de 14 Mbps, y triplica la capacidad de tráfico interactivo soportado por WCDMA, consiguiendo que la red pueda ser accedida por una mayor cantidad de usuarios. Además, HSDPA acorta la latencia de la red (se prevén menos de 100 ms), mejorando así los tiempos de respuesta.

Los analistas anticipan que HSDPA será la tecnología de datos de alta velocidad de próxima generación escogida por los operadores, debido especialmente al soporte con que cuenta HSDPA en la comunidad de proveedores. Fabricantes como *Siemens* están desarrollando para sus clientes soluciones HSDPA tanto para estaciones base como para dispositivos de usuario final.

2.3 Aplicaciones y servicios

La presencia universal de los teléfonos móviles ha hecho posible el desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios destinados a una gran variedad de usuarios.

Según el informe "Capacidades de datos para la evolución GSM a UMTS" de *Rysavy Research* para *3GAmericas*, el cambio desde las tecnologías 2G y 2.5G a las tecnologías 3G de tercera generación supondrá una gran mejora en la capacidad y la eficiencia de los servicios móviles. El soporte para datos celulares de segunda generación se limita a aplicaciones de datos básicas, tales como mensajería, e-mail basado en texto, y descarga de tonos de llamada, y carece de suficiente conectividad para un acceso eficiente a Internet. GPRS hace factible un nuevo mundo

de aplicaciones: empresariales, de navegación Web, para el consumidor, y aplicaciones multimedia. EDGE aumenta la capacidad de GPRS, mejorando las posibilidades de navegación por Internet, permitiendo aplicaciones de *streaming*, un mayor rango de aplicaciones empresariales, y más aplicaciones multimedia. Con UMTS y HSDPA, los usuarios podrán acceder a teléfonos con vídeo, música de alta fidelidad, más y mejores aplicaciones multimedia, y un acceso sumamente efectivo a sus organizaciones. La mayor cantidad y calidad de aplicaciones soportadas estimulará una mayor demanda y utilización por parte de los clientes, y por tanto, los operadores conseguirán mayores ingresos.

Los requisitos de capacidad de los diferentes servicios de datos para móviles son, según el mismo informe:

- Micro-navegación (por ejemplo, WAP): 8 a 16 Kbps.
- Mensajería multimedia: 8 a 32 Kbps.
- Videotelefonía: 64 a 384 Kbps.
- Navegación web para fines generales: 32 a 384 Kbps.
- Aplicaciones empresariales, incluyendo *e-mail*, acceso a bases de datos y trabajo en redes privadas virtuales: 32 a 384 Kbps.
- *Streaming* de audio y video: 32-384 Kbps.

El *UMTS Forum* divide las posibles aplicaciones en dos grandes grupos: de conectividad (el teléfono como equipo que es capaz de intercambiar información) y de movilidad (el teléfono como equipo portátil que "siempre llevamos con nosotros"), y distingue a su vez 6 grupos:

- Aplicaciones personalizadas que combinan entretenimiento e información.
- Servicios de mensajes multimedia.
- Acceso móvil a intranets y extranets.
- Acceso móvil a Internet.
- Sistemas basados en localización.
- Voz enriquecida.

Existen otras clasificaciones de los posibles servicios y aplicaciones que pueden ofrecer las tecnologías de tercera generación. Por ejemplo, la clasificación propuesta por *Nokia* es la siguiente:

- Publicidad inalámbrica.
- Información móvil.
- Soluciones empresariales.
- Transacciones móviles.
- Entretenimiento móvil.
- Comunicaciones persona a persona.

Los servicios ofrecidos por la telefonía móvil podrían evolucionar de la forma siguiente según *Cadie* (*Cámara Argentina de Industrias Electrónicas y Electromecánicas*):

T2. EVOLUCIÓN DE LOS SERVICIOS MÓVILES

2G Hoy	3G Medio Plazo	3G Largo Plazo
• Información "Push"	• Acceso a Internet & Intranet	• M-Business
• SMS	• E-mail con gráficos e imágenes	• Servicios de información avanzados
• WAP	• Multimedia "Push"	• Educación y entretenimiento audiovisual
• Voz	• Publicidad	• Teletrabajo móvil
	• Contenidos	• Servicios remotos <ul style="list-style-type: none"> · Salud · Diagnósticos · Aplicaciones industriales

Según *Cadix*: "A diferencia del ambiente centrado en la voz que ha primado hasta hoy en el mundo móvil, 3G será un ambiente de datos, siempre conectado. La posibilidad de ofrecer conectividad a contenidos de Internet todo el tiempo y en todo lugar será un rol fundamental de los sistemas 3G".

En la tecnología 3G, la asociación de un terminal con una persona posibilita la provisión de un conjunto grande de servicios de contenidos basados en Internet, que se ajustan a las necesidades del usuario. La característica de "siempre conectado" permite la provisión de mensajería instantánea, y la alta velocidad de transmisión de datos permitirá añadir a estos mensajes imagen y vídeo. En todo caso, los servicios de voz seguirán siendo muy importantes en el entorno 3G, pues las altas posibilidades de transmisión de datos permiten añadir servicios de voz más avanzados como la videotelefonía.

En el futuro, a medida que las redes fijas y móviles converjan, los servicios móviles integrados proveerán los beneficios de la movilidad y la personalización, que permitirán al usuario:

- Acceder a algunos de los servicios a través de terminales tanto fijos como móviles.
- Ser accesible desde cualquier lugar con independencia de su ubicación.
- Modificar su perfil de servicio para satisfacer sus preferencias y necesidades personales.

Los expertos reunidos en el FTF o *Future Trend Forum*, principal proyecto de la *Fundación de la Innovación* de *Bankinter*, han identificado cuatro grandes usos del móvil en el futuro:

- El móvil como ordenador multimedia: juegos, organizador, ofimática, música y vídeo.
- El móvil como equipo de telecomunicaciones: voz mejorada, videoconferencia, radio y televisión digital, navegación por Internet, acceso a intranets, transacciones, geolocalización y navegación.
- El móvil como mando a distancia: interacción con equipos locales hogar y oficina, cajeros automáticos, *vending*, pago en tiendas.
- El móvil como contenedor: monedero, tarjeta de crédito, contenedor de certificados.

Según el informe "3G/UMTS Una realidad impaciente", es opinión generalizada en el sector (y *UMTSWorld* así lo refleja) que 3G no presentará una *killer application* que incline la balanza por esta tecnología como ha ocurrido con otras, sino que serán una multitud de ellas las que

aprovecharán el nuevo ancho de banda disponible, así como las nuevas capacidades de procesamiento, memoria y multimedia que presentarán los nuevos terminales. La clave del éxito para el desarrollo de un mercado masivo estará en una combinación de aplicaciones y contenidos presentados en un terminal de usuario fácil de usar. Por tanto, los aspectos de usabilidad de los terminales deben jugar un papel muy importante, y esto está siendo advertido por las operadoras, que están empezando a dedicar recursos al estudio de las metodologías de usabilidad en las aplicaciones y servicios, y al diseño de aplicaciones y servicios que sean usables.

En todo caso, todas estas nuevas aplicaciones y servicios móviles tendrán que superar ciertas barreras para lograr una aceptación exitosa por parte de los usuarios. Estas barreras clave han sido identificadas por el *UMTS Forum* y son las siguientes:

- Virus que atacan a los terminales.
- Calidad de imagen pobre.
- Insuficiente cobertura.
- Servicios que no son fáciles de usar.
- Lentitud de las descargas.
- Alto coste de los terminales.
- Vida de las baterías.

2.4 Terminales móviles

El teléfono móvil ha ido evolucionando en paralelo con sus aplicaciones, adaptándose a las necesidades crecientes del usuario en cuanto a movilidad, calidad y variedad de servicios, seguridad y facilidad de uso. El desarrollo de los terminales móviles debe estar centrado en las necesidades y demandas de los usuarios, convirtiéndose así los terminales móviles en habilitadores esenciales de los nuevos servicios que cubran dichas necesidades y demandas.

Las tres características principales que un usuario requiere en el uso de un dispositivo móvil son: personalización, localización y seguridad en sus transacciones, pues son las que le proporcionan movilidad total. El teléfono móvil responde perfectamente a estas necesidades, ya que gracias a las nuevas tecnologías permite una transmisión de información segura, y además, es un dispositivo asociado a una persona (mediante su tarjeta SIM) y a un lugar (la celda de la red en que se encuentra, si no se dispone de GPS que localice el terminal de forma más precisa).

Otras necesidades de usuario a las que el teléfono móvil ha ido dando paulatinamente solución son:

- Obtención de información, mediante aplicaciones de acceso en tiempo real a contenidos varios, ya sea mediante WAP, Internet móvil u otras formas.
- Simplificación de las tareas diarias, con la incorporación de agendas, organizadores personales, alarmas,...
- Entrada rápida de texto, facilitada gracias a nuevos teclados, aplicaciones de marcación por voz, texto predictivo...

- Realización de transacciones seguras, mediante la incorporación de servicios de *m-commerce* y de banca móvil.
- Acceso remoto a la Intranet, conseguido gracias a nuevas tecnologías que ofrecen mayores velocidades.
- Interoperabilidad con el PC, bien mediante conexión vía cable o mediante las tecnologías inalámbricas incorporadas a los terminales móviles tales como *Bluetooth*, infrarrojos o *Wi-Fi*.
- Entretenimiento, cubierto por una amplia variedad de juegos y otros servicios, tanto los incorporados en el terminal como los disponibles a través de Internet móvil.

La tendencia actual marca una clara evolución desde los terminales móviles, orientados únicamente a dar servicios de voz, hacia una nueva era de terminales móviles centrados en los datos. En el camino de esta evolución, se están incrementando las capacidades de los terminales, incorporando nuevas aplicaciones. El teléfono móvil ha dejado de ser un elemento exclusivo de comunicación para convertirse en un "*Personal Trusted Device*", es decir, en un Dispositivo Personal de Confianza. Esta nueva visión del teléfono móvil implica que el terminal sea un medio único de acceso a multitud de servicios tanto locales (acceso a Internet o envío de SMS), como remotos (controlar la calefacción de la casa o realizar transacciones con la intranet del trabajo).

En lo referente al diseño de los teléfonos móviles, su evolución ha estado marcada tanto por las necesidades de las nuevas aplicaciones como por las de los usuarios. Algunas de estas necesidades son:

- Mayores pantallas en color, con aumento de la resolución y del número de colores.
- Mayor capacidad de memoria.
- Mayor potencia de proceso.
- Soporte simultáneo de diferentes interfaces radioeléctricas, entre ellas *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *GSM/GPRS*, *UMTS*...
- Terminales pequeños y livianos.
- Mayor capacidad de las baterías, de forma que aumente mucho el tiempo entre recargas.

En cualquier caso, la tecnología debe facilitar la interacción entre el usuario y el dispositivo. Aquí entran de nuevo consideraciones de usabilidad. Para ello resulta interesante, entre otras cosas, la multimodalidad de acceso. Un dispositivo móvil deberá poder ser activado por voz, por teclado, por pantalla táctil, etc. En esta línea, una de las tendencias surgidas para facilitar la introducción de texto en las aplicaciones de los terminales consiste en incorporar un teclado "qwerty" (como el de un ordenador) completo en el móvil para facilitar el envío de e-mails, SMS y MMS.

Junto con el desarrollo de terminales multipropósito están apareciendo terminales de uso específico para determinados servicios. Por ejemplo, el *N-Gage* de *Nokia*, pensado principalmente para aplicaciones de juegos, aunque ofrezca también capacidades de

comunicación como cualquier otro teléfono móvil. Otro ejemplo es el modelo *Nokia 3300*, que está pensado como reproductor de música digital (en formatos MP3 o AAC), además de como teléfono móvil.

Hay que destacar que en el diseño actual de los teléfonos móviles existen dos factores clave a tener en cuenta: la accesibilidad y la usabilidad. La accesibilidad es la característica fundamental que permite el uso del terminal y de sus aplicaciones por cualquier usuario, incluso en el caso de aquellos usuarios que tengan algún tipo de discapacidad. La usabilidad hace referencia, entre otras cosas, a la facilidad de uso del dispositivo, y es una necesidad propia del usuario. Desde el punto de vista de la accesibilidad, existen dispositivos completamente adaptados a las necesidades de ciertos grupos de usuarios, como pueden ser las personas ciegas o con algún tipo de deficiencia visual. Para ellos, ya existen teléfonos móviles adaptados como el *Owasys 22C*, que dispone de un interfaz oral mediante síntesis de voz en lugar de la tradicional pantalla, y tiene un teclado adaptado para un acceso sencillo a las funciones.

Es difícil determinar con precisión como evolucionarán los dispositivos 3G. Su evolución estará muy vinculada al desarrollo de los servicios 3G. No obstante, los terminales deberán cumplir, casi de forma obligada, ciertas características, entre las que destacan: comunicaciones de voz, pantallas a color más pequeñas y con mayor definición, tamaños más pequeños y pesos livianos, baterías de más larga vida, mayor poder computacional y accesorios como teclados, pantallas sensibles al tacto y reconocimiento de voz.

De hecho, hay un cierto consenso de que nos encaminamos hacia lo que algunos expertos llaman "la navaja suiza" de las telecomunicaciones. Un dispositivo móvil en el que converjan las capacidades de los PDA, los reproductores personales de audio y vídeo, la cámara y el teléfono móvil. Es decir, se impondrá un tipo de dispositivo que servirá de cámara, de medio de pago, de ordenador personal, de agenda, de GPS, de reproductor de música y, por supuesto, de teléfono. Los dispositivos denominados *smartphones* son el principal ejemplo de esta nueva tendencia, como veremos en la siguiente sección.

3. Smartphones

3.1 El mercado de los smartphones

Los *smartphones*, también conocidos como teléfonos inteligentes, han supuesto una revolución en los países más adelantados en telefonía móvil. Estos aparatos están reemplazando a los teléfonos celulares en varios países europeos, Japón, Corea y Estados Unidos, gracias a que combinan las funciones de un teléfono móvil con las de un PDA. Ofrecen sustanciales ventajas, no sólo porque evitan la necesidad de transportar varios dispositivos portátiles, sino porque ofrecen una integración real de aplicaciones de voz y datos en un mismo dispositivo.

Añadir funcionalidades a un teléfono móvil no es una idea nueva: los teléfonos celulares de mediados de los 80, ya empezaban a incluir unos primitivos servicios adicionales a los de transmisión de voz, como la agenda de teléfonos y algunos juegos sencillos. Poco a poco, los

teléfonos móviles se fueron haciendo más versátiles, incluyendo, entre otras, funciones de calendario, agenda, calculadora y juegos. La evolución natural del aumento de prestaciones de los teléfonos móviles se encaminó hacia la inclusión de funcionalidades similares a las PDA, con conexión y sincronización con la información del ordenador personal, surgiendo el concepto de *smartphone*.

El sistema operativo más extendido en estos teléfonos es *Symbian*, utilizado por ejemplo por los gigantes *Nokia* y *Sony-Ericsson*. Los sistemas operativos *Palm OS* y el *Microsoft SmartPhone OS* llevan menos tiempo en el mercado, y por tanto son empleados por menos terminales.

El mercado de teléfonos inteligentes despegó el año 2003, con ventas de más de 9 millones de unidades en el mundo y un crecimiento de 182 por ciento con respecto al 2002. De esas ventas, unos ocho millones fueron *smartphones* con sistema operativo *Symbian*. Según IDC, las ventas crecerán un 86 por ciento anual hasta el 2007, donde se espera comercializar unos 130 millones de terminales. Otro estudio de ABI predice crecimientos del mismo orden, con 150 millones de terminales en 2008.

Según TCN (*Technology Channel News*), el último estudio sobre el mercado europeo de PDAs y *smartphones* durante el tercer trimestre de 2003, llevado a cabo por CONTEXT, indica que este segmento continúa con la tendencia al alza experimentada en los últimos meses. Según la consultora, el crecimiento en las ventas de este tipo de dispositivos ha aumentado un 25% y en el segundo trimestre de 2003, el mercado creció un 154%. La siguiente tabla, correspondiente al cuarto trimestre de 2004, da una idea del reparto de las ventas de terminales *Symbian* en función de su fabricante.

T3. VENTAS DE TERMINALES SYMBIAN

Fabricante	No. de Terminales	% del Mercado
Nokia	1.743.910	77,90
Sony-Ericsson	216.990	9,71
Motorola	142.200	6,40
Otros	136.080	6,10

Fuente: "A Study of Smartphone and Symbian Market", de Small Device.

En cifras globales, considerando otros sistemas operativos, *Nokia* continúa dominando el sector con un 61% de cuota de mercado, seguido a distancia por *Sony-Ericsson* y *Motorola*, con un 10,2% y un 5,6% respectivamente. *Treo Handspring*, por su parte, ha perdido posiciones entre los grandes distribuidores. El reciente lanzamiento de *smartphones* basados en el sistema operativo de *Microsoft* tampoco los ha llevado a los primeros puestos de los dispositivos más vendidos, a pesar de que muchos apuestan por un incremento en su cuota de mercado.

En cuanto a las perspectivas de futuro, según las predicciones de la firma de investigación de mercado *Gartner*, a partir del próximo año los *smartphones* se convertirán en una herramienta fundamental en el entorno empresarial y de negocios. En newsfactor.com se discute sobre este

tema y se incluyen datos de los analistas que predicen que en los próximos tres años el mercado de *smartphones* estará repartido así:

- Dispositivos basados en el sistema operativo *Symbian*: 35-40%.
- Dispositivos basados en el sistema operativo de *Microsoft*: 20-25%.
- Dispositivos basados en el sistema operativo de *Palm*: 10-15%.
- Dispositivos RIM (*Blackberry*): 5-10%.

La firma *Gartner* predice que en el año 2006 llegarán a venderse más *smartphones* que asistentes personales. No obstante, en su informe se señala también que los PDA continuarán jugando un papel muy importante en las empresas para el acceso a aplicaciones móviles, mientras que los *smartphones* se utilizarán principalmente para el acceso al correo electrónico y la gestión de citas, tareas y documentos. Esto es razonable, ya que pese a las grandes posibilidades de los *smartphones*, no están enfocados a ejecutar aplicaciones complejas en *Excel*, *Word*, etc., y su pantalla siempre será de un tamaño muy pequeño.

Según este estudio, las expectativas de ventas de *smartphones* en el 2006 se acercan a los 20 millones de unidades frente a 13 millones de asistentes personales. Predice también que en el 2008, el 80 por ciento de los trabajadores móviles utilizará el acceso a correo electrónico desde *smartphones*.

Así como en su momento se dijo que el ordenador portátil acabaría con el PC de sobremesa, o que el PDA haría lo mismo con el portátil, algunos expertos vaticinan que los *smartphones* representarán el final de los teléfonos móviles y de los PDA. Sin embargo, las cifras no muestran la desaparición de ninguna clase de dispositivo, aunque sí anuncian que los *smartphones* serán muy populares e incrementarán sus ventas en el futuro.

3.2 Los sistemas operativos de los Smartphones

Tres son los sistemas operativos bajo los que operan la práctica totalidad de los *smartphones*:

- *Symbian*.
- *Windows Mobile* para *smartphones* (*Windows Smartphone OS*).
- *Palm OS*.

Comentaremos brevemente a continuación algunas características generales de estos sistemas.

3.2.1 El sistema operativo Symbian

Symbian es un consorcio propiedad de *Nokia*, *Motorola*, *Panasonic*, *Sony-Ericsson*, *Psion* y, recientemente, *Siemens*. Fue fundado en 1998 con sede en Londres. Su objetivo es proporcionar un sistema operativo estándar real para aparatos inalámbricos, como por ejemplo *smartphones*. *Symbian* es uno de los elementos impulsores más importantes del sector inalámbrico internacional, con un gran número de sistemas móviles que lo utilizan. Es de hecho el sistema operativo que cuenta actualmente con el mayor parque de terminales en uso.

La Plataforma Serie 60 está dirigida al desarrollo y uso de *smartphones*. Incluye un interface gráfico de usuario (GUI), un conjunto de aplicaciones y el *kit* de creación de software (SDK) para desarrolladores de aplicaciones, todo ello integrado en el sistema operativo *Symbian*. El SDK proporciona APIs de C++ y la posibilidad de utilizar *Java* (mediante la Máquina Virtual de *Java* de *Symbian*), *Visual Basic* y un emulador de terminal, con acceso directo a las APIs del teléfono. Dispone de soluciones y APIs para gestión de telefonía e información personal (calendario, agenda, contactos, tareas, etc.), navegador, mensajería para clientes y una interfaz de usuario completa y modificable. Así, los desarrolladores de software, operadores y fabricantes de aparatos pueden crear sus propias soluciones. Ha sido creada según los principios de la Open Mobile Alliance (OMA), de la que *Symbian* es miembro. El primer producto basado en la Plataforma Serie 60 fue el *Nokia 7650*.

Según el informe "*A Study of Smartphone and Symbian Market*", de *Small Device*, el entorno de desarrollo de aplicaciones de *Symbian* proporciona potentes herramientas de diseño de interfaces de usuario, como:

- Diseño de interfaces gráficas de usuario orientadas a eventos y con arquitectura de *widgets*.
- Un sistema de ventanas preparado para gestionar teclado, pantalla y puntero.
- Un sistema de enlace de navegación directa, que posibilita una fuerte integración entre aplicaciones.
- Mecanismos para adaptar el aspecto de la interfaz de usuario.
- Mecanismos para reconocimiento de voz y de escritura.
- Posibilidad de múltiples ventanas semitransparentes.

3.2.2 El sistema operativo Windows Mobile para smartphones

Este sistema operativo es la evolución del *Windows Mobile Pocket PC* para su uso en *smartphones*. Al estar basado en *Windows*, se comunica y sincroniza de forma natural e integrada con las aplicaciones del PC, como *Microsoft Outlook*. Entre sus principales características destacan:

- Orientado a la entrada mediante *joystick* o *notepad*.
- *Microsoft Pocket Outlook*, que permite la gestión de correo, calendario, citas, contactos y tareas.
- *Microsoft Pocket Internet Explorer*, un navegador para explorar la web, compatible con WAP y HTML.
- *Microsoft Windows Media Player*, para acceder y gestionar contenidos multimedia en el *smartphone*: audio, video, fotos, música, etc.
- *MSN Messenger*.
- Grabadora de voz.
- Soporte para redes privadas virtuales.

3.2.3 El sistema operativo Palm OS

Es el sistema operativo en el que se basan los PDA y *Smartphones* de *Palm* y de otros fabricantes. Su origen data de 1996, con la aparición del primer dispositivo *Palm Pilot*. Actualmente se encuentra en la versión 5, aunque ya se habla de la versión *Palm OS Cobalt 6.1*.

Es un sistema operativo con una amplia base de dispositivos y con una gran cantidad de aplicaciones, tanto comerciales como *shareware* o *freeware*. Ofrece las habituales aplicaciones de gestión de información personal (calendario, contactos, correo electrónico, tareas, etc.) y posibilidades multimedia. La aplicación *Hotsync* permite sincronizar los datos con *Microsoft Outlook* o con el propio software organizador de *Palm* en un PC. Para los desarrolladores de aplicaciones, dispone de *Suites* de desarrollo y *kits* de desarrollo software (SDK).

La última ampliación *Palm OS Garnet* tiene las siguientes características principales (www.palmsource.com):

Soporte de pantallas

- Baja densidad: 160x160, 160x220, 176x220.
- Alta densidad: 320x320, QVG (240x320) y HVGA (320x480).
- Color (16 bits).
- Temas de color seleccionables y adaptables por el usuario.
- *Fonts* de baja y alta densidad.

Algunas aplicaciones nativas

- *Address Book*.
- *Date Book*.
- *Memo Pad*.
- *To Do*.
- Cliente de sincronización *HotSync*.
- Calculadora.
- Aplicación SMS.

Entrada de datos manuscritos

- Reconocimiento de caracteres *Graffiti 2*.
- *Kit* de reconocimiento de escritura.

Comunicaciones

- RS232.
- Infrarrojos.
- USB.
- *Bluetooth*.
- *Drivers* para tarjetas SD y MMC.
- Biblioteca de red con soporte Ethernet Support para *drivers* 802.11.
- Bibliotecas TCP/IP.
- PPP (Point to Point Protocol).
- APIs para telefonía y SMS.

3.3 Ejemplos de smartphones

En esta sección presentaremos brevemente algunos de los *smartphones* más recientes. No se trata de realizar un análisis exhaustivo, sino de dar una idea de las posibilidades de algunos terminales comerciales reales.

3.3.1 Sony-Ericsson P910i

Se trata del último lanzamiento de esta alianza en el campo de los *smartphones*. Como teléfono, es un móvil GPRS tribanda (900/1800/1.900 Mhz) con prestaciones de PDA.

FIGURA 2. *Sony-Ericsson P910.*



Se trata de una evolución del modelo anterior, el P900, como éste lo fue a su vez del P800. Como puede verse en la figura anterior, dispone de un teclado numérico y un pequeño teclado "qwerty" desplegable. Su pantalla en color admite 262.000 colores, y es táctil, por lo que el terminal viene provisto de un puntero. Tiene también una cámara de fotos con resolución VGA (640x480), y su aplicación *Communicorder* permite capturar fotos y video, aunque este último sólo con resolución 176x144. La única limitación en la duración de la grabación de video es la cantidad de memoria disponible. Por ejemplo, con 64 Mb se puede almacenar una hora de video. Dispone de aplicaciones que permiten visualizar fotos y video, y permite también visualizar *video streaming*. Es también un reproductor de música en formato MP3 y grabadora digital.

El procesador es una CPU ARM9 a 156Mhz. Dispone de 96Mb de memoria interna, que puede ser ampliada utilizando tarjetas *Memory Stick Duo*, con capacidades de hasta 1Gb.

En cuanto a las aplicaciones software, el P910 utiliza el sistema operativo *Symbian 7.0*, incluye diversas aplicaciones comerciales (algunas de prueba y otras en versión completa): *World Mate Pro*, el navegador *Opera*, *MetrO*, *Wayfinder*, *HP Runestone* (impresión via *Bluetooth*), *Media Viewer* (con acceso directo a noticias como el *Financial Times*), *Promyzer* (gestión de *stocks* y cuotas de mercado), *AvantGo* y *QuickPoint*. También incorpora *QuickWord* y *QuickSheet* que

proporcionan compatibilidad con documentos *Word* y hojas de cálculo *Excel* MS. Además, posee *PDF+*, un lector de *Adobe PDF*.

Su aplicación de mensajería proporciona acceso completo a *e-mail*, SMS y MMS, incluyendo clientes de correo POP3 e IMAP. Como gestor de información personal, el P910 incluye calendario, base de datos de contactos, gestor de tareas y una utilidad de notas. Para su conexión a un PC dispone de un *desk* USB, aunque posee también conectividad *Bluetooth* y por infrarrojos. Sincroniza con *Microsoft Outlook*, *Lotus Notes* y *Lotus Organizer*.

3.3.2 Nokia 6600

El *smartphone* *Nokia 6600*, modelo que ya lleva algún tiempo en el mercado, es un modelo GPRS tribanda (900/1800/1900) que utiliza el sistema operativo *Symbian OS 7.0*. Dispone de una pantalla de 176 x 208 píxeles con 65536 colores y de una cámara digital con resolución VGA y *zoom* digital de 2 aumentos. Dispone asimismo de grabación de vídeo con reproductor de audio y *RealOne* para la reproducción y *streaming* de secuencias de vídeo *RealMedia*, con selección de tamaño de imagen de vídeo QCIF (176x144) o subQCIF (128x96).

Tiene 6 Mb de memoria interna y posibilidad de ampliación mediante tarjetas MMC (*Multimedia Card*), para contactos, mensajes de texto, mensajes multimedia, tonos de llamada, imágenes, secuencias de vídeo, agenda, lista de tareas y aplicaciones.

FIGURA 3. El *smartphone* *Nokia 6600*.



Como organizador de información personal, dispone de calendario, contactos, tareas y notas, y la aplicación *PCsuite* permite su conexión y sincronización con *Microsoft Outlook* en un PC. Dispone también de un cliente de correo electrónico. Sus capacidades inalámbricas incluyen *Bluetooth* e infrarrojos.

3.3.3 Motorola MPx200

Este dispositivo es un *smartphone* tribanda GPRS (900/1.800/1.900 MHz) con el sistema operativo *Windows Mobile* para *smartphones*. Se trata de un terminal con dos pantallas, una interna TFT (176 x 200) y una externa de dos líneas (96 x 32). Dispone de hasta 10Mb de memoria interna, ampliables con tarjetas SD/MMC.

FIGURA 4. El *smartphone* Motorola MPx200.

El sistema operativo *Windows smartphone OS* es una adaptación del software *Windows Pocket PC* para su uso en *smartphones*. Por tanto, un *smartphone* con este sistema operativo dispone de casi todas las posibilidades de un PDA, con algunas limitaciones, al menos por el momento (capacidad de proceso más limitada, no incorpora *PocketWord* ni *PocketExcel*, etc.).

Concretamente, dispone de:

- Gestor de agenda (calendario), contactos, tareas, etc., con *Microsoft Pocket Outlook*.
- Conectividad con PC y sincronización directa con *Microsoft Outlook* mediante la aplicación *Microsoft ActiveSync*.
- Reproductor de audio y video *Microsoft Windows Media Player*.
- Navegación por Internet con *Pocket Internet Explorer*.
- Gestión de correo electrónico con *Microsoft Pocket Outlook*, también con sincronización directa con *Microsoft Outlook*.

3.3.4 Treo 650

El teléfono *Treo 650*, es un *smartphone* basado en el sistema operativo *Palm OS*. Es un modelo cuatribanda (850/900/1.800/1.900 MHz). Utiliza el procesador *Intel PXA270* a 312 MHz. Incorpora una pantalla TFT color de 65.000 colores, con resolución de 320x320. Dispone de 23Mb de memoria de usuario, ampliables mediante tarjetas SD/MMC.

FIGURA 5. El *smartphone* Treo 650.

Incorpora una cámara con resolución VGA y la posibilidad de capturar vídeo. Sus posibilidades multimedia cuentan con la reproducción de vídeo mediante *Realplayer* y la reproducción de audio MP3.

Al ser un dispositivo que utiliza directamente el sistema operativo *Palm OS* puede ejecutar todas las aplicaciones de este sistema, como un PDA completamente operativo. Entre esas aplicaciones se encuentran:

- Contactos.
- *VersaMail*.
- Mensajería.
- Tareas.
- Memos.
- Calculadora.
- Reloj.
- Gestor de sincronización con PC *HotSync Manager*, que permite la sincronización con *Microsoft Outlook*.
- *DataViz Documents To Go 7*, que permite trabajar con documentos de *Microsoft Office*.
- *Palm eReader*.
- *AudiblePlayer*.

4. PDAs

4.1 El mercado de los PDAs

Actualmente, existe una gran tendencia a desarrollar nuevas tecnologías pensadas para ofrecer al usuario mayor usabilidad y comodidad, además de una gran variedad de servicios orientados a explotar nuevas posibilidades de comunicación y ocio. Dentro de este nuevo grupo de tecnologías se encuentran las PDAs (*Personal Digital Assistant*). Un PDA es un dispositivo móvil de pequeño tamaño, intermedio entre un teléfono móvil y un ordenador portátil, que soporta una gran variedad de funcionalidades para facilitar el trabajo de los usuarios. Sus principales ventajas son la movilidad, la conectividad y su elevada usabilidad. El PDA posee una serie de características que lo hacen muy interesante:

- *Movilidad*. Es un dispositivo de pequeño tamaño que puede ser transportado y utilizado en todo momento.
- *Potencia de cómputo*. Hoy en día, los procesadores que incorporan los PDA de última generación son incluso más potentes que los de los ordenadores personales de hace sólo algunos años. Esto hace que los PDA actuales puedan abordar con suficiente rapidez tareas muy complejas, con las limitaciones lógicas del tamaño de pantalla y de los procedimientos de entrada de datos.

- *Posibilidades de expansión.* Los PDA actuales poseen ranuras de expansión tipo *Compactflash* o MMC-SD, que permiten añadir al dispositivo una gran cantidad de ampliaciones, desde ampliaciones de memoria hasta tarjetas de comunicaciones inalámbricas, receptores GPS e incluso cámaras fotográficas y módulos GPRS.
- *Conectividad.* Los PDA actuales, aparte de las comunicaciones tradicionales vía serie, USB e infrarrojos, poseen conexiones inalámbricas, como *Bluetooth* o *Wi-Fi*.

Gartner señaló que las ventas mundiales de PDAs ascendieron a 2,75 millones de unidades en el segundo trimestre de 2004. Esto corresponde, según sus resultados preliminares, a un incremento del 12% en comparación con el segundo trimestre de 2003. De esta forma, se rompe la tendencia de caídas consecutivas que acusaban las cifras de ventas de este sector.

Uno de los factores que ha influido de forma decisiva en este crecimiento del mercado de las PDAs es sin duda el incremento significativo que han sufrido las ventas del modelo *Blackberry* de la compañía *Research in Motion* (RIM), cuya cifra de ventas ha aumentado en un 289% en el segundo trimestre de este año. A la vista de estas cifras, se puede afirmar que la nueva gama de dispositivos *Blackberry* se está convirtiendo en un fuerte competidor para *Palm* y HP, líderes actuales del mercado.

Por su parte, el mercado español de PDAs continúa su trayectoria ascendente, según TCN (*Technology Channel News*). Cabe destacar que durante el primer trimestre de 2004 se han vendido un 71,8% más de unidades respecto al mismo periodo del año anterior, situando más de 55.000 unidades en el mercado. Según un informe elaborado por *Research and Markets*, las ventas de PDAs en los mercados corporativo y de consumo movieron 1.770 millones de dólares en 2003 y se espera que en 2009 esta cifra aumente hasta los 3.000 millones de dólares.

Si se analiza el *ranking* de empresas líderes en este sector a nivel mundial en el segundo trimestre de 2004, se observa que *PalmOne* es el líder con un 33,2%. *Hewlett-Packard* controla el 19,3% de este mercado, seguido muy de cerca por *Research in Motion*, que alcanza una cuota del 18,6%. El siguiente cuadro resume las cifras de ventas mundiales de PDAs, ofrecidas por *Gartner*.

T 4. VENTAS MUNDIALES DE PDA

Compañía	1Q3	2Q3	1Q4	2Q4	2Q4, Cuota de Mercado (%)
PalmOne	923.421	946.807	834.738	913.202	33.2
Hewlett-Packard	455.115	381.298	579.842	529.773	19.3
Research in Motion	89.500	131.100	405.000	510.000	18.6
Sony	376.909	272.638	230.666	174.804	6.4
Dell	145.170	138.517	163.800	147.500	5.4
Otros	865.449	586.963	520.764	473.372	17.2
Total	2.865.564	2.454.323	2.734.810	2.748.651	100.0

Fuente: Informe de *Gartner*.

A nivel nacional, el mercado de los PDAs ha sufrido un gran cambio, ya que en el segundo trimestre de 2004, HP ha pasado a liderar el sector con una cuota del 46,2%, dejando a *Palm* en una segunda posición con un 22,9% del mercado, según datos de la consultora *Canalys*. El tercer lugar en el *ranking* de fabricantes lo ocupa *Acer* con una cuota de mercado del 8.73%.

Desde el punto de vista de los sistemas operativos de estos dispositivos móviles, el mercado también ha sufrido una gran revolución. *PalmOS*, sistema operativo líder durante el segundo trimestre del 2003, que dominaba en ese momento el 53,3% del mercado nacional, ha visto disminuida considerablemente su cuota correspondiente al mismo periodo del 2004, controlando únicamente el 29%. Mientras le ocurría esto a *PalmOS*, los dispositivos basados en *Windows Pocket PC* han tenido un fuerte incremento, pasando a controlar el 68,2% del mercado en 2004, en lugar del 44,5% del año anterior, según informa *Canalys*.

Sin embargo, aunque se ha observado un fuerte crecimiento de esta industria a lo largo del 2004, los expertos prevén que en los próximos años las ventas de estos dispositivos disminuirán. Una prueba de esto es la decisión tomada por *Sony* de reducir su mercado de PDAs, más concretamente su línea *Clíé*, únicamente al mercado japonés.

En un futuro cercano, se piensa que los dispositivos de mayor éxito tenderán a ser híbridos entre PDAs y teléfonos móviles, como los *smartphones*. Ya existen varios modelos que ocupan este mercado de híbridos PDA-telefono móvil, como son el *Sony-Ericsson P-910i*, el *Nokia 6600* y *PalmOne Treo 650*, comentados anteriormente.

4.2 Los sistemas operativos de los PDA

Sin lugar a dudas, los sistemas operativos más extendidos para los dispositivos PDA son:

- *Windows PocketPC*
- *Palm OS*

Muchas de sus características ya las hemos comentado al hablar de las versiones de estos sistemas para *smartphones*, en la sección 3.2, puesto que *Windows Pocket PC* comparte muchas de las características de *Windows Smartphone OS*, y el sistema operativo *Palm OS* es prácticamente el mismo para dispositivos PDA que para *smartphones*.

Una de las aplicaciones importantes que suelen añadir las versiones de los sistemas operativos para PDA sobre los *smartphones* es la posibilidad de trabajar con documentos de *Microsoft Office*, y de intercambiar los mismos entre el PC y el PDA. Concretamente:

- El sistema operativo *Windows Pocket PC* incorpora *Pocket Word* y *Pocket Excel*. Permite además añadir aplicaciones para trabajar con archivos de *Access* y *Powerpoint*.
- Para el sistema operativo *Palm OS*, la aplicación *Documents To Go* permite intercambiar con el PC archivos de *Microsoft Office* y trabajar con ellos en el PDA.

En todo caso, la tendencia es que estas aplicaciones también se incluyan en los *smartphones*. Por ejemplo, el *smartphone Treo 650* admite la aplicación *Documents To Go*, y, como vimos

anteriormente, el *smartphone* P910 de *Sony-Ericsson* permite trabajar con documentos *Word* y *Excel*.

4.3 Ejemplos de PDA

Comentaremos brevemente en esta sección las características de dos dispositivos, uno de ellos basado en *Windows Pocket PC* y el otro basado en *Palm OS*.

4.1.3 HP IPAQ hx4700

Se trata de un dispositivo de la familia de PDAs resultante de la fusión de las líneas de negocio de HP y *Compaq*. Utiliza un procesador de *Intel PXA270* a 624 Mhz y dispone de serie de 128 Mb de ROM y 64 Mb de RAM. La pantalla es táctil de 4 pulgadas, de matriz activa TFT con 16 bits (65.000) colores.

FIGURA 6. HP IPAQ hx4700.



Fuente: <http://pocketnow.com>.

El sistema operativo es *Windows Pocket PC 2003, Second Edition*, e incluye una gran cantidad de software, entre el que destaca: *Notes, Tasks, AvantGo, Calendar, Contacts, ActiveSync, VPN Client, Pocket Word, Pocket Excel, File Explorer, Voice Recorder, IPAQ File Store, Microsoft Reader, Bluetooth Manager, Microsoft Outlook 2002, Pocket Internet Explorer, Terminal Services Client, Adobe Acrobat Reader for Pocket PC, y Windows Media Player 9.0 for Pocket PC*.

En cuanto a su conectividad, admite tarjetas *Compactflash* y MMC-SD, y dispone de infrarrojos, conexión serie y USB, *Bluetooth* y *Wi-Fi*. Asimismo tiene una cuna USB para su conexión con el PC. El software *ActiveSync* permite la sincronización de contenidos entre el PDA y el PC.

4.1.4 PalmOne Tungsten T5

Se trata de un PDA lanzado al mercado por *palmOne*, la empresa de *Palm* dedicada a los dispositivos.

FIGURA 7. *PalmOne Tungsten T5.*

Sus características más importantes son:

- *Intel* PXA270 a 416MHz .
- Sistema operativo *Palm OS Garnet* v5.4.5.
- Procesador *Intel XScale* a 416 MHz.
- Memoria total de 256 MB (capacidad real de almacenamiento: 215Mb; 160Mb flash interna, y 55Mb de memoria de programa).
- Pantalla TFT color retroiluminada, resolución 320x480, y 65.000 colores.
- Comunicaciones: USB, infrarrojos, *Bluetooth*.
- Admite tarjetas SD y MMC.

Se conecta con el PC directamente (*plug & play*), y de hecho puede utilizarse como otra unidad más de almacenamiento. Incluye una gran cantidad de aplicaciones software. Mencionamos algunas de ellas:

- Aplicaciones de gestión de información personal: calendario, tareas, contactos, memos y bloc de notas.
- Aplicaciones de teléfono móvil: *dialer* y SMS.
- *Documents To Go 7.0*: aplicación para trabajar con documentos de *Microsoft Office*.
- *HotSync*: aplicación de sincronización con el PC.
- *Media*: visualizador de fotografías y de vídeo.
- *RealPlayer*: reproductor de música digital.
- *Versamail*: cliente de e-mail.
- *Blazer*: navegador web.
- *Adobe Acrobat Reader*.
- *eReader*: lector de libros electrónicos.

5. Otros dispositivos portátiles

Revisaremos en esta sección de forma muy breve algunos otros dispositivos portátiles que por su utilidad o extensión en la comunidad de usuarios pueden resultar de interés.

5.1 Jukeboxes

Son dispositivos orientados fundamentalmente al almacenamiento y reproducción de archivos de audio, video y fotografías, aunque algunos de ellos disponen también de interfaz de juegos. Los formatos más comúnmente aceptados por estos dispositivos son:

- Audio: MP3, WMA, WAV, OGG, AAC, ATRAC (formato propietario de *Sony*).
- Video: MPEG-1, MPEG-2 y MPEG-4 (*Divx, Xvid...*).

Estos dispositivos se presentan en dos variedades principales:

- Sin disco duro: Almacenan la información multimedia en su memoria interna (los tamaños más comunes son de 128 Mb, 256 Mb y 512 Mb, aunque ya empiezan a aparecer dispositivos, como el de *Packard Bell*, de 1 Gb. Casi todos admiten la ampliación de su capacidad mediante tarjetas, siendo la SD la más empleada.
- Con disco duro: Almacenan la información multimedia en un disco duro interno. Los tamaños más habituales son 20 Gb y 40 Gb, aunque ya hay dispositivos de 60 Gb (como el *Creative Jukebox Zen*) e incluso de 80 Gb (como el *Archos AV 380*). Algunos de estos dispositivos pueden leer también tarjetas de memoria (*Compactflash, MMC, SD, etc.*), bien directamente o mediante el correspondiente adaptador externo.

Algunos dispositivos poseen pantalla monocroma, y otros en color (esta última imprescindible en aquellos dispositivos que permiten reproducir video). Algunos poseen características adicionales, como:

- Posibilidad de grabar audio directamente de la fuente, y codificarlo en tiempo real, por ejemplo, en MP3.
- Posibilidad de grabar video y codificarlo directamente en MPEG-4.
- Posibilidad de incorporar accesorios como cámara fotográfica, lector de tarjetas de memoria, sintonizador de FM, etc.
- Juegos.
- Organizador: calendario, contactos, notas, etc.

La tendencia en estos dispositivos será hacia mayores capacidades de disco duro (100 Gb o más), pantallas en color mayores e integración directa con las tiendas de contenidos *on-line*.

Presentamos seguidamente dos representantes de esta familia de dispositivos: el *Apple Ipod* y el *Archos AV420*.

5.1.1 Ipod de Apple

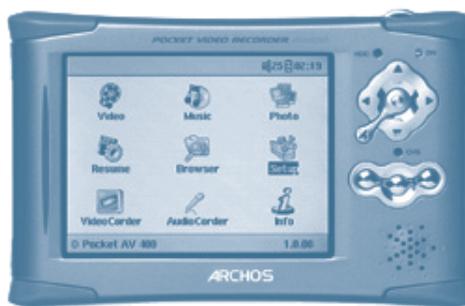
Considerado por algunos como el rey de los *jukeboxes* de audio, en su nueva versión de 60 Gb añade una pantalla en color y capacidades de visualización de fotografías. Permite almacenar unas 15.000 canciones y 25.000 fotos, que se pueden visualizar en su pantalla a color o en una TV externa.

FIGURA 8. *Apple Ipod Photo.*

Es un dispositivo extremadamente fácil de utilizar. Utiliza una rueda táctil donde se han incluido los botones de control principales. La pantalla es TFT de 2", con 65.000 colores. Incorpora una base de carga con salida *S-video*. Dispone además de funciones adicionales, como calendario, alarma, contactos, etc. Funciona además como dispositivo de almacenamiento externo y puede conectarse a ordenadores PC y *Macintosh*.

5.1.2 AV400 de Archos

Archos es una empresa que lleva varios años dedicada a los dispositivos multimedia portátiles. Actualmente, los dispositivos de su gama más alta son los de la serie 400.

FIGURA 9. *Archos AV420.*

El *Archos AV400* es un dispositivo "todo-en-uno". Se presenta en dos versiones: AV420, con 20 Gb de disco duro y AV480, con 80 Gb de disco duro. Sus múltiples capacidades abarcan:

- Grabador y reproductor digital de video. Reproduce archivos MPEG-4 y permite grabar directamente de una fuente de video en el disco duro.
- Grabador y reproductor de archivos de música digital en formatos MP3, WMA y WAV.

- Permite transferir y visualizar directamente fotos desde una tarjeta *Compactflash*, y mediante un adaptador externo, de tarjetas SD, MMC, *MemoryStick* y *SmartMedia*.
- Funciona como dispositivo de almacenamiento externo (disco duro externo).
- Es grabador de voz.

5.2 Dispositivos GPS

Los dispositivos portátiles de localización han evolucionado considerablemente. Hoy en día, los dispositivos de localización basados en GPS (*Global Positioning System*), se pueden dividir en tres tipos fundamentales:

- Dispositivos GPS dedicados. Se trata de pequeños dispositivos de mano dedicados únicamente a la localización GPS. Algunos incorporan utilidades adicionales como puede ser brújula, barómetro, termómetro, etc. Un ejemplo de estos dispositivos es el *Navman iCN 510*.

FIGURA 10. *Dispositivos GPS Navman iCN 510 y Magellan GPS Sporttrack Color.*



- PDAs con funciones adicionales de GPS. Dispositivos como el *Garmin IQUE 3600* o el *MITAC Mio 168 GPS Xtrac2*, que añaden a las funcionalidades propias del PDA una antena y un receptor GPS, así como software de posicionamiento en mapas y gestión de rutas.

FIGURA 11. *PDAs con GPS Garmin IQUE 3600 y MITAC Mio 168 GPS Xtrac2.*



- Ampliaciones GPS para PDA. Se trata de módulos externos que, o bien se conectan directamente a un PDA a través de la ranura *Compactflash*, o bien vía *Bluetooth*. Un ejemplo de estos últimos es, por ejemplo, el *Navman GPS 4410 Wireless*.

FIGURA 12. PDAs con GPS Navman GPS 4410 Wireless.



5.3 Tablet PC

Por último, consideramos un dispositivo a medio camino entre los dispositivos "de mano" y los ordenadores portátiles: se trata del *Tablet PC*. Son dispositivos de tamaño algo inferior al de un portátil (aunque hay modelos casi del mismo tamaño), y con pantalla algo mas reducida (entre 10" y 12", aunque hay modelos con pantalla de 14"). Sus principales características son:

- La pantalla puede darse la vuelta y situarse sobre el teclado, convirtiendo así el ordenador en una tableta.
- Disponen de un lápiz electrónico con el que se puede escribir en la pantalla.
- Incorporan el sistema operativo *Windowsx XP Tablet PC Edition*. Este sistema operativo, incluye, entre otras cosas, software para gestión de notas tomadas con el lápiz electrónico y software de reconocimiento de escritura manual.
- Los dispositivos de almacenamiento masivo (DVD, disquetera), suelen ser externos, conectándose mediante cable USB o *Firewire*.
- Dispone de menos conexiones externas (USB, *Firewire*) que los portátiles tradicionales. No obstante, algunos modelos se pueden conectar a una bahía de ampliación que proporciona puertos adicionales.
- Están preparados para conectividad inalámbrica (*Bluetooth* y *Wi-Fi*).

La figura que sigue muestra, como ejemplo, el *Tablet PC tc 1100* de HP.

FIGURA 13. *Tablet PC tc 1100* de HP.

6. Usabilidad

6.1 Concepto de usabilidad

La Internacional Organization for Standardization (ISO) define el concepto de usabilidad de la siguiente forma: la medida en la que un producto se puede usar por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado. Es decir, la usabilidad puede definirse como el nivel con el que un producto o sistema se adapta a las necesidades del usuario, logrando que los usuarios lo utilicen cumpliendo sus objetivos de efectividad, eficiencia y satisfacción, en un contexto específico de uso.

La usabilidad mide múltiples aspectos de la interacción hombre-sistema. Para realizar esta cuantificación o medición del nivel de usabilidad que posee cualquier sistema, se han definido una serie de atributos. Estos permiten realizar evaluaciones y comparaciones de la usabilidad de diferentes sistemas. A continuación, se presentan de forma resumida estos atributos:

- *Facilidad de aprendizaje.* Hace referencia al proceso de aprendizaje que sufre todo usuario al enfrentarse al uso de un nuevo sistema. Este proceso debe ser lo más rápido y fácil posible para que el usuario no pierda la atención ni el interés.
- *Eficiencia.* El usuario, una vez que ha aprendido la utilización de un nuevo sistema, debe ser capaz de realizar las tareas que necesite de forma productiva. La eficiencia de uso puede evaluarse de diferentes formas, entre ellas destacan la medida del tiempo que tarda un usuario en realizar ciertas tareas y el número de *clicks* que necesita para finalizarlas.
- *Carga de memoria.* El uso del sistema debe requerir la menor carga de memoria posible por parte del usuario, es decir, una vez aprendido su manejo el usuario debe ser capaz de recordarlo con facilidad. Para evaluar este atributo, se pueden realizar *tests* de usabilidad a usuarios que utilicen el sistema de forma esporádica, utilizando como métrica el tiempo empleado en realizar unas tareas determinadas.
- *Errores.* Todo sistema debe ser diseñado para evitar que los usuarios cometan errores en su utilización, tratando de minimizar su número. Además, el propio sistema debe facilitar la recuperación o vuelta atrás en caso de que el usuario cometa errores.
- *Satisfacción de uso.* Este atributo es de carácter subjetivo, pues hace referencia a la evaluación de lo agradable y placentero que le resulta al usuario el uso del sistema. Su medida suele realizarse mediante cuestionarios a los que responden los usuarios tras la utilización del sistema bajo estudio, donde reflejan su grado de satisfacción.

Según Jacob Nielsen, la usabilidad es una cualidad que determina cómo de fáciles de usar son los interfaces de usuario. La usabilidad debe tenerse en cuenta a lo largo de todo el proceso de desarrollo de un producto o sistema. De esta forma, se consiguen ciertos beneficios como la reducción de los costes de producción, la reducción de los costes de mantenimiento, la reducción de los costes de uso, y la mejora en la calidad del producto.

La usabilidad es un aspecto de las metodologías de diseño centrado en el usuario, que se basa en tres principios básicos: el estudio desde el principio de los usuarios y sus tareas a realizar, la realización de medidas empíricas acerca del uso del sistema o producto, y el desarrollo de un proceso de diseño iterativo en el cual se realizan fases de detección y corrección de los posibles problemas de usabilidad que se pudieran encontrar. Al proceso de incorporación de la metodología del diseño centrado en el usuario en el desarrollo de productos y servicios se denomina Ingeniería de Usabilidad. La Ingeniería de Usabilidad trata de priorizar los atributos que sirven para evaluar el grado de usabilidad de un sistema, permitiendo así fijar ciertos objetivos verificables y medibles.

6.2 Evaluación de la usabilidad

La evaluación de la usabilidad es un proceso que se debe llevar a cabo durante todo el proceso de desarrollo, y permite garantizar el cumplimiento de un cierto nivel de usabilidad de un sistema o producto, previamente fijado. Existen gran variedad de métodos de evaluación de la usabilidad. Una clasificación general de estos métodos puede ser la siguiente:

- **Métodos realizados por expertos:** Son aquellos que no implican la participación de usuarios reales, en los que los expertos realizan un estudio de los problemas de usabilidad que presenta el sistema bajo estudio, valorando su importancia y proponiendo posibles soluciones. Dentro de este tipo de métodos destaca la Evaluación Heurística, que fue desarrollada por Nielsen y Molich. Este método consiste en analizar la conformidad de la interfaz con unos principios de usabilidad establecidos, denominados heurísticas, mediante la evaluación de dicha interfaz por parte de un grupo de expertos. Estas heurísticas de usabilidad constituyen un resumen de las características básicas que debe tener un servicio o producto usable, y además, son lo suficientemente generales como para ser aplicadas a la evaluación de usabilidad de cualquier producto o sistema. Las heurísticas básicas son:
 - *Heurística 1. Diálogo simple y natural.* Esta heurística implica que las interfaces de usuario deben simplificarse lo más posible, de manera que se aproximen a los modelos mentales que utilizan los usuarios al realizar las tareas.
 - *Heurística 2. Hablar el lenguaje del usuario.* Hace referencia a la nomenclatura utilizada por los sistemas. Se deben utilizar términos y conceptos familiares al usuario.
 - *Heurística 3. Minimizar la carga de memoria del usuario.* Esta regla resalta la capacidad del sistema de minimizar la cantidad de conceptos a memorizar por parte del usuario a la hora de utilizar el sistema o servicio en cuestión.
 - *Heurística 4. Consistencia.* Ésta es una de las heurísticas de usabilidad más importantes, pues de la consistencia del interfaz depende que el usuario confíe o no en el uso del sistema, y se atreva a "experimentar" con el mismo durante el aprendizaje de su uso.
 - *Heurística 5. Realimentación.* Es fundamental que el sistema informe al usuario en todo momento sobre la realización de las tareas, incluyendo, además de la información sobre posibles errores cometidos, aquella información referente a las actividades del sistema.

- *Heurística 6. Salidas claramente marcadas.* Esta heurística está relacionada con la sensación de control que el usuario tiene sobre el sistema. Este debe ofrecer al usuario la posibilidad de salir o cancelar cualquier acción en tantas situaciones como sea posible.
 - *Heurística 7. Atajos.* Se refiere a la posibilidad de todo sistema de ofrecer al usuario determinadas herramientas que permitan realizar de forma abreviada ciertas tareas. Dichas herramientas, denominadas atajos, facilitan la realización de las tareas de uso más frecuente, aumentando la satisfacción del usuario.
 - *Heurística 8. Mensajes de error adecuados.* Dicha heurística considera las posibles situaciones de error en las que el sistema debe informar al usuario de forma clara y constructiva, favoreciendo el aprendizaje del usuario a partir de sus propios errores.
 - *Heurística 9. Prevención de errores.* Todo sistema debe evitar inducir a cometer errores, sobre todo en aquellas situaciones que sean más proclives a ellos.
 - *Heurística 10. Ayuda y documentación.* Se centra en el uso de la documentación y los sistemas de ayuda que ofrece cualquier sistema. Ambos deben ser diseñados siguiendo los principios de usabilidad generales, es decir, deben facilitar la búsqueda y contener información que sea verdaderamente útil para el usuario.
- **Métodos realizados con usuarios reales:** La realización de pruebas con usuarios reales, más que muy conveniente, debería clasificarse de imprescindible. Estos métodos están basados en la observación y el análisis de cómo un grupo de usuarios reales utiliza cierto sistema o producto, detectando los puntos fuertes y los problemas de usabilidad con que éstos se vayan encontrando a lo largo de la realización de ciertas tareas.

El resultado final de la realización de una evaluación de usabilidad consiste en un informe final que contiene un listado de los problemas de usabilidad detectados en el producto o sistema, una valoración de la severidad o importancia de cada uno de ellos (según algún tipo de escala, ya sea numérica o conceptual), y un conjunto de sugerencias o posibles soluciones orientadas a su corrección.

6.3 La usabilidad y los dispositivos móviles

A la hora de diseñar aplicaciones, uno de los principales objetivos debería ser conseguir una interfaz intuitiva y fácil de usar y aprender. En el caso de los dispositivos móviles, este objetivo debe seguir siendo primordial, y por tanto, la usabilidad de éstos dispositivos se ha convertido en un factor clave para su éxito en el mercado. Como afirma Jacob Nielsen (2003): "A menos que la usabilidad de los servicios por Internet móvil y los terminales móviles aumente considerablemente, el público sencillamente no comprará y los billones de dólares invertidos se habrán desperdiciado".

Para garantizar la usabilidad de los dispositivos móviles se hace imprescindible la realización de estudios con usuarios. A partir de estos estudios, se analiza al usuario en su propio contexto de trabajo, lo que permite definir cuáles son las funcionalidades más eficaces en las aplicaciones

móviles y además, facilita el diseño de interfaces más intuitivas al permitir conocer cuales son las verdaderas necesidades y expectativas del usuario al utilizar uno de estos dispositivos.

Por otra parte, no se deben olvidar ciertas particularidades que poseen los dispositivos móviles y que afectan a su nivel de usabilidad, pues constituyen limitaciones a tener en cuenta tanto en el diseño de las aplicaciones como en el diseño del propio dispositivo. Algunas de estas limitaciones, extraídas del informe "*Usability and Accessibility in Mobile Computing*", se mencionan a continuación:

- *Pequeño tamaño de la pantalla.* Los dispositivos portátiles a los que nos referimos deben tener un tamaño pequeño, es decir, deben caber en la palma de la mano. Es imprescindible que posean pantallas pequeñas, las cuales limitan el espacio destinado al interfaz de usuario. De esta forma, la información mostrada debe ser cuidadosamente seleccionada y presentada de tal forma que facilite la interacción del usuario con el dispositivo.
- *Limitados mecanismos de entrada de datos.* También por razones del tamaño de los dispositivos, éstos poseen unas limitaciones en los procedimientos de entrada de datos. Actualmente, los métodos más utilizados son el empleo de teclados donde cada botón tiene asociada más de una función y los mecanismos basados en pantallas táctiles para la selección de funciones. Ambos mecanismos necesitan de gran atención por parte de los usuarios, y son propensos a los errores, limitando su usabilidad.
- *Limitado ancho de banda y coste.* Esta limitación afecta a los servicios ofrecidos por Internet móvil. Por ello, las páginas ofrecidas deben ser ligeras y se debe minimizar el número de páginas a navegar para finalizar una tarea. Además, la mayoría de las compañías facturan por información transmitida, lo cual supone un factor de rechazo del usuario hacia estos servicios.
- *Limitada capacidad de proceso y sistemas operativos menos potentes.* Debido a ello, las capacidades de sus aplicaciones también se ven limitadas. Sin embargo, la rápida evolución en el desarrollo de nuevos procesadores y memorias promete eliminar esta barrera.
- *Limitada capacidad de sus baterías.* La limitada autonomía que permiten las baterías actuales hace que el usuario no confíe plenamente en este tipo de dispositivos. Además, hay que tener en cuenta que al aumentar las funcionalidades de los dispositivos, también se incrementa el consumo de sus recursos, con lo que se acelera la descarga de sus baterías.
- *Gran heterogeneidad de sistemas operativos y características físicas.* A causa de esta heterogeneidad los usuarios de dispositivos móviles se deben adaptar a nuevas formas de interacción cada vez que utilizan un nuevo dispositivo, lo que implica un nuevo proceso de aprendizaje del funcionamiento, las operaciones, los mensajes... para cada dispositivo. Este problema se resolvería si los fabricantes y desarrolladores definieran unos estándares generales para el desarrollo y diseño de estos dispositivos y sus aplicaciones.

Además de las limitaciones técnicas que presentan los dispositivos móviles, deben tenerse en cuenta también las limitaciones cognitivas de los usuarios, las cuales cobran mayor importancia en los entornos dinámicos en los que se utilizan dichos dispositivos. Un ejemplo de este tipo de

limitaciones es la capacidad de información que es capaz de procesar un usuario en un momento determinado, la cual depende directamente del nivel de atención del usuario, el cual a su vez es dependiente del entorno. Teniendo en cuenta que los dispositivos móviles se utilizan, en general, en entornos dinámicos y por tanto, llenos de distracciones para el usuario, la atención del usuario se ve reducida y en consecuencia también se reduce su capacidad de procesar la información ofrecida por el dispositivo móvil.

La usabilidad de los dispositivos móviles es un tema muy estudiado en la actualidad. Son muchos los autores que, como Jacob Nielsen en su día, están tratando de definir las pautas o principios de usabilidad a seguir en el caso particular de los dispositivos móviles, que como hemos destacado anteriormente, poseen ciertas características particulares que hacen insuficientes para su evaluación los principios generales de usabilidad propuestos por Nielsen. A continuación, presentaremos dos de estas propuestas de principios definidos especialmente para la evaluación de la usabilidad de los dispositivos móviles.

Una primera propuesta la encontramos en el informe titulado "*Usability and Accesibility in Mobile Computing*" realizado por el *Fondo investimenti per la Ricerca di Base (FIRB)*. El informe presenta una clasificación de principios de usabilidad aplicados a entornos de computación ubicua, donde se encuentran enmarcados los dispositivos móviles. Esta clasificación emplea tres categorías de principios: aprendizaje, flexibilidad y robustez.

- **Aprendizaje.** Los principios relacionados con el aprendizaje se refieren a la facilidad de aprender y recordar las funciones y capacidades ofrecidas por los sistemas.
- **Previsión.** La previsión de acciones en los dispositivos móviles es escasa debido a las limitaciones de las salidas y a los complejos menús o conjuntos de comandos que presentan las diferentes opciones posibles de actuación en cada situación.
- **Sintetización.** Esta propiedad se refiere a la capacidad del usuario de utilizar los conocimientos adquiridos en la realización de operaciones pasadas para construirse un modelo mental del funcionamiento del sistema que le ayude en su interacción con él.
- **Familiaridad.** Si un usuario, cuando se enfrenta por primera vez a un interfaz, es capaz de interaccionar con él sin grandes problemas, se considera que ese interfaz de usuario es familiar. Los dispositivos móviles, en general, presentan claves de acceso a ciertas funciones presentes en todos ellos similares y específicas, como puede ser la forma de acceso al menú principal mediante un icono o tecla denominada "Menú" o la utilización de una tecla verde para realizar una llamada.
- **Generalidad:** En la actualidad, la mayoría de los dispositivos móviles poseen sus propios sistemas operativos con diferentes formas de realizar las mismas tareas. Esta dificultad es más importante en el ámbito móvil pues los usuarios tienden a cambiar con más frecuencia de terminal y de fabricante. Sería conveniente generalizar los comportamientos de ciertas teclas presentes en todos los dispositivos para facilitar su uso a los usuarios.

- **Consistencia:** Este atributo se refiere a la consistencia de las entradas y salidas del sistema. Teniendo en cuenta que los teclados son el mecanismo más usual de entrada de datos, se debe prestar atención a la complejidad que éstos presentan al poseer teclas con múltiples acciones asociadas. Además, si un usuario conoce el comportamiento de una tecla y en alguna situación especial ésta no realiza la acción esperada, se produce un problema de consistencia y se incrementa la desconfianza del usuario hacia el dispositivo.
- **Flexibilidad.** El concepto de flexibilidad representa el grado de intercambio de información y control entre el usuario y el sistema. Algunos de los atributos que sirven para evaluar la flexibilidad de un sistema son los siguientes:
 - **Iniciativa de dialogo.** Los dispositivos móviles toman la iniciativa para interactuar con el usuario, requiriendo su atención, en situaciones como la señalización de eventos del contexto. Esta capacidad de los dispositivos de tomar la iniciativa se ve restringida por la limitada capacidad de procesamiento que poseen. Por otro lado, el usuario también es capaz de iniciar la interacción con el sistema para realizar determinadas tareas, pero en este caso, las acciones se ven limitadas por el estrecho ancho de banda de estos dispositivos.
 - **Procesamiento "Multihebra".** Este tipo de procesamiento está muy limitado en dispositivos móviles debido entre otras cosas al pequeño tamaño de su pantalla y su reducida capacidad de computación, que limitan el número de aplicaciones simultáneas a ejecutar. Además, en caso de existir tareas en ejecución el usuario debería ser capaz de interrumpir y reanudar cada una de ellas. La multimodalidad, aunque ofrece grandes ventajas, implica un proceso de aprendizaje mayor para el usuario, y puede estar sólo justificado en usuarios con necesidades especiales.
 - **Migración de tareas.** Consiste en la capacidad de transferir el control de tareas entre sistema y usuario. Esta característica, aunque importante y útil, no debe estar entre las más influyentes a la hora de diseñar un sistema.
 - **Personalización.** Esta característica se refiere a la capacidad del usuario o del sistema para modificar el interfaz de usuario. Desde el punto de vista del usuario, este es un atributo muy valorado pues le permite adaptar el interfaz del dispositivo a sus preferencias personales, incrementando su grado de satisfacción.
- **Robustez.** La robustez está relacionada con la capacidad del sistema de dar soporte eficiente al usuario para finalizar con éxito sus tareas. Los atributos que determinan el grado de robustez de un sistema son:
 - **Visibilidad.** Consiste en el grado con que el sistema es capaz de presentar al usuario su estado interno, facilitando que éste pueda evaluarlo desde el interfaz de usuario. Aspectos tales como el estado activo/inactivo de las conexiones del sistema o el estado de la batería son muy importantes para el usuario y por tanto, deberían ser fácilmente observables por éste, minimizando así las acciones explícitas para su consulta.

- **Recuperación.** Este atributo hace referencia a la capacidad con que un usuario consigue volver al estado previo después de haber detectado un error. Tan importante como diseñar un sistema poco propenso a errores es diseñarlo con la habilidad de solucionarlos una vez ocurridos.
- **Sensibilidad.** Esta característica es una medida del grado de comunicación entre el usuario y el sistema.
- **Conformidad de las tareas.** Implica el grado con que el sistema soporta todas las tareas necesarias para el usuario y se las ofrece de la forma que éste las desea realizar.

Para finalizar este epígrafe, presentamos las pautas para el diseño de interfaces para dispositivos móviles propuestas por J.Gong y P.Tarasewich, en su artículo "*Guidelines for Handheld Mobile Device Interface Design*". Estos autores analizan las "*Golden Rules of Interface Design*" propuestas por Shneiderman y las adaptan al caso particular de los dispositivos móviles. Ellos consideran que cuatro de estas reglas pueden aplicarse directamente a los dispositivos móviles sin necesidad de ser adaptadas. Estas reglas de aplicación directa son:

- Permitir a los usuarios el uso de atajos para la realización de las tareas más frecuentes.
- Ofrecer información de realimentación al usuario.
- Diseñar diálogos que completen los procesos de interacción.
- Sensación del control del usuario.

Las cuatro reglas restantes propuestas por Shneiderman requieren ciertas modificaciones para poder ser aplicadas a los dispositivos móviles:

- **Consistencia.** Para realizar sus tareas, los usuarios necesitan utilizar tanto dispositivos de sobremesa como diversos dispositivos móviles; por ejemplo, pueden tener la necesidad de transferir algún documento entre ellos. En estos casos, la consistencia de todos los dispositivos es fundamental para no confundir al usuario. Algunas recomendaciones para incrementar la usabilidad de los dispositivos mejorando su consistencia son:
 - La apariencia de las plataformas debería ser similar en todos los dispositivos.
 - Los elementos de los interfaces móviles deberían ser similares a los de los entornos de sobremesa.
 - Las metodologías de entrada/salida deberían ser independientes del dispositivo.
- **Rectificación de acciones.** Esta funcionalidad del sistema es más compleja en los dispositivos móviles que en los de sobremesa, pues éstos poseen menor capacidad de memoria para almacenar los eventos pasados. Esta limitación se podría tratar de salvar haciendo que las aplicaciones móviles dependan de la conectividad de la red lo menos posible.
- **Prevención de errores y sencilla manipulación de los mismos:** Las actividades de prevención y manipulación de errores son similares en los terminales móviles y en dispositivos de sobremesa. A la hora de prevenir errores, se deben tener en cuenta, entre otros factores, las

limitaciones físicas de los dispositivos. Sería recomendable que nada potencialmente peligroso fuera activado mediante una operación demasiado sencilla.

- *Reducir la carga de memoria a corto plazo.* A la vista de las limitaciones de memoria a corto plazo de los usuarios, los interfaces de los dispositivos deberían ser diseñados para requerir la menor carga de memorización posible en la realización de las tareas. Esta necesidad de minimizar la carga de memoria toma más importancia en los entornos de uso de los dispositivos móviles, donde el usuario soporta más distracciones y por tanto, su capacidad de atención y de memorización se ve disminuida. Dos posibles recomendaciones que mejoren la usabilidad del dispositivo salvando esta limitación son:

- Confiar en el reconocimiento de funciones en lugar de en la memorización de comandos.
- Utilizar métodos alternativos de interacción como sonidos para transmitir información donde sea posible.

Para finalizar, estos autores plantean algunas líneas adicionales a seguir en el diseño de interfaces de usuario para dispositivos móviles para incrementar su usabilidad. Dichas pautas tratan de salvar las limitaciones propias que presentan estos dispositivos y que afectan a su usabilidad. Estas líneas de diseño específicas se presentan de forma resumida a continuación:

- *Diseñar para contextos dinámicos.* Los dispositivos móviles son utilizados en entornos dinámicos, ya que pueden ser utilizados por múltiples usuarios, en diferentes lugares y para realizar diversas actividades. Por tanto, la usabilidad de estos dispositivos puede variar en función de las condiciones de estos entornos dinámicos. Algunos de estos factores que pueden influir son las condiciones de luz, el ruido ambiente, la presencia de otras personas o las actividades que está realizando el usuario de forma simultánea al uso del dispositivo. Algunas líneas a seguir para mejorar la usabilidad en este aspecto son:
 - Permitir a los usuarios configurar las salidas en función de sus preferencias y necesidades, por ejemplo, debería poder configurar el tamaño del texto o el brillo de la pantalla.
 - Permitir el uso del dispositivo de forma normal o con manos libres.
 - Soportar la adaptación automática de las aplicaciones al entorno actual del usuario.
- *Diseñar para dispositivos pequeños.* Con el avance de las tecnologías, los dispositivos móviles han ido reduciendo considerablemente su tamaño, surgiendo ciertas limitaciones físicas a la hora de soportar la gran variedad de funciones que ofrecen. Para superar estas limitaciones, son necesarias nuevas técnicas de interacción, como por ejemplo la utilización de entradas de datos mediante la voz o el uso de sonidos como salidas. Una recomendación para mejorar la usabilidad superando estas limitaciones consiste en proporcionar mecanismos de selección de palabras en lugar de requerir entradas de texto.
- *Diseñar para una atención limitada.* Los dispositivos móviles suelen ser utilizados en paralelo con otras actividades. Por ello, estos dispositivos no deberían requerir demasiada atención por parte del usuario, pues éste podría distraerse en tareas más importantes. Deben utilizarse interfaces de usuario que requieran la mínima atención posible. Una posibilidad de lograr esto se basa en proporcionar opciones de salidas alternativas en forma de sonidos o táctiles.

- *Diseñar para una rápida recuperación.* En los dispositivos y aplicaciones móviles, el tiempo es un factor de gran importancia. El usuario podría perder el interés por estas aplicaciones si tardan demasiado en ejecutarse y en consecuencia, disminuiría la usabilidad del dispositivo. Dos consejos a este respecto:
 - Permitir que las aplicaciones puedan ser iniciadas, paradas o reiniciadas con poco o ningún esfuerzo.
 - Las funciones de los dispositivos deben ejecutarse rápidamente.
- *Diseñar para interacciones "top-down".* Los dispositivos móviles, debido a sus pequeñas pantallas, tienen limitaciones para mostrar grandes cantidades de información. En estos casos, es preferible utilizar mecanismos de presentación multinivel, a mostrar largos *scrolls*. La recomendación para mejorar la usabilidad en estos casos consiste en presentar la información en muchos niveles, permitiendo a los usuarios decidir el grado de detalle que desean utilizar.
- *Permitir la personalización.* Una característica de los dispositivos móviles es su carácter personal, pues normalmente son utilizados por una única persona. Esto, unido a que los diferentes usuarios poseen diferentes preferencias, implica una necesidad de dotar a los terminales de capacidades para adaptarse a cada uno de sus posibles usuarios. Para mejorar la usabilidad y la satisfacción de uso del usuario se debería ofrecer al usuario la capacidad de realizar ajustes en función de sus necesidades y gustos.
- *Diseñar para gustar.* Las características estéticas de los dispositivos móviles también influyen directamente en su usabilidad. Para conseguir que influyan positivamente, las aplicaciones deberían presentar una apariencia agradable y divertida para el usuario a la vez que usable.

6.4 Recomendaciones para mejorar la usabilidad de los dispositivos móviles

Para finalizar, presentaremos una relación de recomendaciones concretas para mejorar la usabilidad de estos dispositivos, extraídas del libro de Scott Weiss titulado "*Handheld Usability*".

En relación a los iconos presentados en los interfaces gráficos de usuario, Weiss propone ciertas líneas a seguir para mejorar la usabilidad de los dispositivos móviles:

- Mantener los iconos pequeños, pero reconocibles, es decir, que el usuario pueda saber sin dificultad que representa cada uno.
- Usar gran contraste de colores, para evitar problemas de visibilidad en condiciones de poca luz o entornos soleados.
- Resaltar los bordes de los iconos, si es posible con líneas negras.
- Evitar iconos en tres dimensiones, es decir, es conveniente mantener iconos planos.
- Los iconos deben ser simples, evitando combinaciones de dibujos.
- Los nombres son más fácilmente identificables que los verbos.
- Los iconos deben ser lo más consistentes posible, es decir, los iconos que ya sean reconocidos por su asociación a ciertas funciones no deben ser cambiados.
- Los iconos deben ser intuitivos y fácilmente memorizables.

- Los iconos con distintas formas son más fácilmente recordables.
- No se debe usar texto dentro de los iconos, pues debido al tamaño su lectura no será eficiente. En su lugar, es mejor utilizar, textos asociados a los iconos.

Además, propone el uso de "*Audicons*" o sonidos equivalentes a los iconos. Los sonidos diferentes asociados a ciertos eventos del sistema incrementan la usabilidad de éste, pero no se deben usar como único interfaz de usuario pues existen ocasiones en las que a los usuarios les interesa mantener sus dispositivos en silencio y por tanto, necesitarían otro tipo de señales, como pueden ser los mensajes gráficos.

Todos los dispositivos móviles usan menús de uno u otro tipo. El nivel de usabilidad de éstos influye en la usabilidad global de cada dispositivo u aplicación. Los menús están formados por un conjunto de comandos presentados de diferentes formas. Entre los más frecuentes destacan los menús en forma de lista, los menús con botones gráficos y los menús que emergen y se solapan al seleccionar una de sus opciones. Estos menús facilitan el acceso al usuario a todas las funcionalidades del dispositivo. El acceso al menú principal de un dispositivo móvil suele estar disponible desde una tecla o algún icono concreto, que puede estar asociado al término "Menú".

Los mecanismos de entrada de texto suelen ser cajas o líneas de puntos, donde el usuario puede introducir diferentes tipos de caracteres ya sean numéricos, textuales o tipo *password* (que serán representados por asteriscos como medida de seguridad). El sistema indicará que campos están activos para el usuario, ya sea remarcando su borde o haciendo parpadear un cursor en ellos. Además, cada entrada debe llevar un título, que suele localizarse encima o a su izquierda, y que indique la información que debe introducirse. También existen los llamados "*check box*" y los botones de tipo radio para seleccionar ciertas opciones. Ambos deben ser acompañados de un texto o gráfico que represente el concepto a seleccionar. Los botones tipo radio nunca deben aparecer solos, en ese caso sería más apropiado utilizar un "*check box*".

En los interfaces de usuario de dispositivos móviles, también se utilizan botones "*push*". Este tipo de botones funcionan en estos entornos de la misma manera que en los entornos de sobremesa, con lo cual su aprendizaje resulta más fácil e intuitivo para el usuario. Por otra parte, estos botones al ser presionados ofrecen mecanismos de "*feedback*", mediante sonidos y señales visuales. Es bastante común utilizar la inversión de sus colores como indicación de retroalimentación al usuario. Es importante que todos los botones de acción del interfaz presenten claramente un término que indique la acción que realizan, para evitar así posibles confusiones del usuario. Weiss propone unas pautas para localizar estos botones en los interfaces de los dispositivos móviles:

- Colocar los botones en la parte de debajo de la pantalla, justificados a la izquierda, siempre que sea posible.
- Colocar el botón correspondiente a la acción más lógica a la izquierda del todo.
- El botón "Cancelar" debe localizarse lo más a la derecha posible. Este botón cierra la página actual deshaciendo los cambios realizados en ella, si únicamente cerrara la página debería nombrarse como "Cerrar".

Es importante proveer al usuario de información de retroalimentación durante operaciones largas de procesado. Para ello se utilizan normalmente los llamados indicadores de progreso. El citado autor propone unas guías para diseñar estos indicadores:

- Se debe utilizar un indicador de proceso para cualquier operación que tenga una duración mayor de dos segundos.
- Cuando se realicen un conjunto de procesos seguidos, el indicador de proceso debe ser único para toda la serie. Se debe evitar utilizar múltiples indicadores de proceso sucesivos.
- Es útil indicar con un texto adjunto al indicador de proceso cual es el paso en cada momento, pero si uno de los pasos dura menos de medio segundo no debe indicarse para no confundir al usuario, el cual no podría leerlo.
- Si es posible, se debe proveer de una opción de "Cancelar" o "Parar".
- En los casos en los que sea posible, cuando el proceso tenga una duración mayor de diez segundos, es conveniente indicar el tiempo transcurrido y el restante para la finalización de la operación.

Cuando no se puedan usar indicadores de progreso por desconocer la duración de la operación, es conveniente utilizar animaciones gráficas que sean representativas de un proceso en curso.

A la hora de diseñar una aplicación para dispositivos móviles debe ponerse especial cuidado en el diseño del interfaz de usuario, pues será el principal medio de interacción del usuario con el sistema. Algunas recomendaciones a tener en cuenta en su diseño podrían ser:

- Las ventanas de diálogo consisten en mensajes de error y paneles de información, y requieren la atención inmediata del usuario. Normalmente ofrecen opciones como "OK" o "Cancel", que en ciertas ocasiones pueden resultar ambiguas. En su lugar deberían utilizarse palabras que representen de forma más clara la acción que realizan.
- La utilización de "*Wizards*" suele facilitar el uso de formularios mostrando las entradas de texto organizadas en distintas páginas. En los casos en los que sólo se necesita modificar ciertos campos, su utilización no resulta usable, pues fuerza al usuario a recorrer todas las páginas sin necesidad.
- En los dispositivos donde no sea posible implementar el modelo "*clipboard*", constituido por las opciones de cortar, copiar y pegar, se debe ofrecer algún mecanismo que permita la transferencia de datos de unas aplicaciones a otras.

Las características y necesidades de los interfaces de usuario de los dispositivos móviles son distintas dependiendo de la aplicación que soporten. A continuación, citaremos algunos de estos casos particulares.

- *La página principal.* Todos los dispositivos móviles presentan una página principal. Esta página es la herramienta equivalente al escritorio en los dispositivos de sobremesa, y en ella se ofrece el acceso a la mayoría de las funciones del dispositivo. Pueden ser diseñadas de distintas formas, pero actualmente la más usual es la utilización de entornos gráficos con iconos. El acceso a esta página debe ser fácil de localizar por el usuario. Por ejemplo, los teléfonos

móviles suelen presentar una tecla o icono específico con el término "Menú" en la parte de abajo de la pantalla.

- *Las aplicaciones de e-commerce.* Aunque el *e-commerce* es una aplicación de éxito en los dispositivos de sobremesa, no ha corrido la misma suerte su concepto de aplicación equivalente, *m-commerce*, en los dispositivos móviles. Esto se ha debido a ciertos problemas de usabilidad que presentan este tipo de aplicaciones: el proceso de introducir información navegando en un dispositivo móvil es tedioso, es imposible presentar eficazmente los productos en sus pequeñas pantallas, es difícil registrar la forma de la navegación de las personas para crear estrategias de compra, y por último, el servicio de compra por teléfono es un gran competidor para el *m-commerce*, pues si éste no ofrece mayor velocidad y eficiencia el usuario optará por él. Existen ciertas formas de tratar de solucionar estos problemas, como son:
 - Ofrecer una plataforma de registro.
 - Soportar *passwords* sencillos.
 - Recordar los *logins* y los *passwords* de una sesión a otra.
 - Se debe ser realistas sobre qué se puede vender desde un dispositivo móvil.
 - Establecer una estrategia de micropagos con los proveedores.
- *Los juegos.* Los juegos son aplicaciones que aportan un rápido y fácil entretenimiento al usuario cuando éste está aburrido, sobre todo si se le ofrecen desde dispositivos que están siempre en su mano. Aquellas aplicaciones que permiten al usuario parar y reanudar el juego en otro momento, aportan mayor usabilidad. Además, si se ofrece la posibilidad de publicar las puntuaciones vía Internet móvil, se consigue una mayor sensación de comunidad entre los usuarios. Este último objetivo también lo logran los juegos con entorno multijugador. No hay que olvidar que, aunque los juegos ofrecidos por Internet móvil presentan grandes ventajas, tienen las limitaciones propias de la capacidad de la conexión.
- *Las aplicaciones de noticias.* Ofrecen al usuario información en forma de texto e imágenes. Para adaptarlas a los dispositivos móviles manteniendo su usabilidad se deben seguir ciertas líneas:
 - Utilizar títulos cortos, que puedan ser usados como *ítems* en menús.
 - Separar los párrafos por tres espacios en blanco en lugar de utilizar líneas en blanco.
 - Enlazar conceptos con otros artículos de interés.
 - Si se utilizan imágenes, sonidos o vídeo, tratar de que su tamaño sea el mínimo posible.
 - Mostrar una página que contenga los títulos de los artículos y cada uno de ellos enlazarlo a su texto correspondiente mediante un *link* denominado "Más". Además, permitir desde el texto del artículo volver a la página de los títulos mediante un *link* "Principal".
 - Al final de cada artículo, se debe ofrecer un conjunto de títulos relacionados junto con sus enlaces correspondientes.
- *Las aplicaciones de negocios.* Estas aplicaciones son las encargadas de automatizar ciertas tareas necesarias en el ámbito de los negocios, tales como preparar una factura o controlar el inventario. Algunas guías para mejorar la usabilidad son:

- Para los usuarios de una aplicación, se deben utilizar los rasgos comunes de los posibles usuarios.
- Se deben identificar objetivos y métodos para el uso diario y luego adaptarlos a un dispositivo medio.
- *Las aplicaciones de productividad.* Es muy habitual que los dispositivos móviles incluyan aplicaciones como calendarios o agendas. Para diseñar estas aplicaciones mejorando su usabilidad:
 - No todas las funcionalidades que poseen estas aplicaciones en los dispositivos de sobremesa son útiles en el ámbito móvil.
 - Mantener disponibles funciones para compartir los datos entre distintos dispositivos a alto nivel.
 - Permitir a los usuarios insertar datos desde sus agendas y calendarios a cualquier otra aplicación disponible, sin necesidad de copiar cada dato de forma independiente.
 - Proveer una forma fácil para deshacerse de datos desde sus aplicaciones, con el objeto de conseguir espacio libre para más contenidos.
 - Proveer una opción para borrar datos desde el dispositivo pero que permita restaurarlos en la operación siguiente de sincronización.
- *Las aplicaciones de comunicación.* Dentro de este grupo se encuentran aplicaciones como el *e-mail*, la videotelefonía, el *chat* interactivo y los distintos sistemas de mensajería. Algunas consideraciones a tener en cuenta en estos servicios son:
 - Considerar el almacenamiento de los contenidos en servidores y almacenar únicamente las cabeceras en los dispositivos para ahorrar memoria.
 - Una opción muy útil es la utilizada por el sistema de *e-mail* de *Palm OS*, que permite al usuario descargar la primera parte de cada mensaje y ofrece un enlace para descargar el resto.
 - Se debe enlazar la agenda del dispositivo con el resto de funciones de comunicación. De esta forma, se disminuye el esfuerzo que debe realizar el usuario a la hora de utilizar las tareas de comunicación, como realizar una llamada o enviar un mensaje, incrementando además su satisfacción de uso y por tanto, la usabilidad de estas aplicaciones.

En resumen, podemos afirmar que la usabilidad de los dispositivos móviles es muy dependiente tanto de los atributos físicos de los terminales como de las características de uso de cada una de sus aplicaciones. Sin olvidar que hay que tener en cuenta en todo momento las necesidades y preferencias del usuario, pues será su satisfacción de uso la que determine principalmente el nivel de usabilidad del dispositivo y, en buena parte, su éxito comercial.

7. Referencias

- 3GAME(2004). *3GAmericas*.
<http://www.3gamericas.org/English/Technology_Center/>.
- 3GAME(2002). *Capacidades de datos para la evolución GSM a UMTS*. 3GAmericas.
<http://www.3gamericas.org/PDFs/data_capabilities_whitepaper_span.pdf>.
- Buchanan, G., Farrant, S., Jones, M., Thimbleby, H., Marsden, G., Pazzani, M.(2001). *Improving Mobile Internet Usability*. WWW 2001: 673-680.
<<http://www.ics.uci.edu/~pazzani/Publications/www10.pdf>>.
- CADIE(2001). *3G en la República Argentina*. Cadie (Cámara Argentina de Industrias Electrónicas y Electromecánicas).
<<http://www.cadie.org.ar/3g.htm>>.
- CAIXG(2002). *Presente y futuro de Internet Móvil. Situación y perspectivas de los servicios Internet a través de dispositivos móviles*. Boletín Empresarial de Caixa Galicia.
<[http://www.caixagalicia.es/wvio004_generadoBol/imovil\(2\).pdf](http://www.caixagalicia.es/wvio004_generadoBol/imovil(2).pdf)>.
- CANAL(2004a). *Global smart phone shipments treble in Q3*. Canalys.
<<http://www.canalys.com/pr/2004/r2004102.htm>>.
- CANAL(2004b). *3G handsets on the rise*. Canalys.
<<http://www.canalys.com/pr/2004/r2004111.htm>>.
- CCREG(2003). *Future Mobile Applications*. Commission for Communications Regulation.
<http://www.odtr.ie/_fileupload/publications/ComReg0360.pdf>.
- Collido Savio, D.(2002). *Usabilidad y pautas culturales en desarrollos 3G/4G*. Revista AHCIET, número 92.
<<http://www.ahciet.net/contenido/actualidad/revista/92/010-63-71.pdf>>.
- FAUNA(2004). *Las alternativas en el futuro de la telefonía móvil*. Fundación Auna.
<<http://www.fundacionauna.org/documentos/analisis/notas/3G.pdf>>.
- FBANK(2004). *3G/UMTS Una realidad impaciente*. Fundación de la Innovación Bankinter.
<http://www.ftforum.org/doc/3G_UMTS_Una_realidad_impaciente.pdf>.
- FIRB(2004). *Usability and Accesibility in Mobile Computing*. Fondo investimenti per la Ricerca di Base (FIRB).
<http://black.elet.polimi.it/mais/documenti_pubblico/IIIsemestre/r7.3.3.pdf>.
- Gong,J., Tarasewich, P. (2004). *Guidelines for Handheld mobile device interface design*. Proceedings of the DSI 2004 Annual Meeting.
<<http://www.ccs.neu.edu/home/tarase/GuidelinesGongTarase.pdf>>.
- Greene, S., Finnegan, J.(2003). *Usability of Mobile Device and intelligently adapting to a User's needs*. Telecommunications Software and Systems Group (TSSG) Waterford Institute of Technology (WIT).
<http://www.m-zones.org/deliverables/d234_1/papers/greene-usability.pdf>.
- IDATE(2004). *Mobile terminals: the benefits of growth*. IDATE.
<http://www.idate.fr/an/qdn/an-04/IF332/index_a.htm>.

- IDC(2004a). *Worldwide Mobile Phone Forecast and Analysis Update, 2003-2008*. IDC.
- IDC(2004b). *IDC prevé caída en mercado PDA*. IDC.
<<http://www.inicia.es/de/pacopalm/PPPMOVL/734.htm>>.
- IDC(2003). *Worldwide Smart Handheld Device Forecast and Analysis Update, 2003-2007*. IDC.
- Klockar, T., Carr, D.A., Hedman, A., Johansson, T., Bengtsson, F.(2003). *Usability of Mobile Phones*. Proceedings of the 19th International Symposium on Human Factors in Telecommunications. páginas 197-204. Berlin, Alemania, Diciembre 1-4 2003.
<<http://www.sm.luth.se/csee/csn/publications/MobileUsabilityHFT03.pdf>>.
- Maeso Escudero, J.V., Delgado, I.G. (2004). *Principios ergonómicos aplicados a los sistemas lógicos y al diseño de interfaces "usables" y accesibles*. VIII Congreso de Ingeniería de Organización. Leganés. Septiembre 2004.
<<http://io.us.es/cio2004/comunicaciones/867-873.pdf>>.
- MARK(2004). *Las ventas mundiales de PDAs en ascenso*. Marketing-up.
<http://www.marketing-up.com.mx/noticias_mkup.php?acc=ver&tid=1492>.
- Navarro, R., Gil, E.P.(2004). *Usabilidad en aplicaciones móviles*. UMTSForum.
<http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&tu_log=95> y
<http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&tu_log=100>.
- Navarro, R., Gil, E.P.(2003). *Interaction Lab: Estudios de usabilidad para aplicaciones y tecnologías móviles*. UMTSForum.
<http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&tu_log=84>.
- Nielsen, J. (2004). *Ten Usability Heuristics*. Jakob Nielsen's Website.
<http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_list.html>.
- Nielsen, J.(2003). *Usability Engineering*. Academic Press, 1993.
- NOTI(2004a). *Radiografía del mercado informático español (I) PDAs*. Noticiasdot.com
<<http://banners.noticiasdot.com/termometro/boletines/docs/termos/2004/0904/termo-1-280904.pdf>>.
- NOTI(2004b). *Windows Mobile ya vende más PDAs que PalmOS*. Noticiasdot.com
<<http://www.noticiasdot.com/publicaciones/2004/1104/1511/noticias1511/noticias151104-4.htm>>.
- Sanz Alcober, A.(2002). *PDA's: Ampliando los límites de la informática personal*. Boletín e-business de APTICE.
<[http://w2.iaf.es/iaf/intranet.nsf/Mtodocumentos/45C07A9E27292885C1256E0B00469D39/\\$FILE/nautilus010.pdf](http://w2.iaf.es/iaf/intranet.nsf/Mtodocumentos/45C07A9E27292885C1256E0B00469D39/$FILE/nautilus010.pdf)>.
- UMTSF(2004). *UMTSForum.net*. <<http://www.umtsforum.net/>>.
- UNILL(2002). Evaluación. Universitat de Lleida.
<<http://griho.udl.es/ipo/doc/04Evalua.doc>>.
- Vetere, F., Howard, S., Pedell, S., Balbo, S.(2003). *Walking Trough Mobile Use: Novel Heuristics and their Application*. Proceedings of OzCHI2003. Brisbane, Australia. Noviembre 2003.
<[http://www.dis.unimelb.edu.au/staff/fvetere/publications/Vetere\(2003\)ozchi.pdf](http://www.dis.unimelb.edu.au/staff/fvetere/publications/Vetere(2003)ozchi.pdf)>.
- Weiss, S.(2002). *Handheld usability*, John Wiley and Sons.

EDITA

Consejo Social, Universidad Politécnica de Madrid

PROYECTO GRÁFICO

base 12 diseño y comunicación

DEPÓSITO LEGAL

M-42.683-2005

TSSI

Tecnologías y Servicios para
la Sociedad de la Información



Consejo
Social

UPM

Universidad Politécnica de Madrid