

Novática, revista fundada en 1975 y decana de la prensa informática española, es el órgano oficial de expresión y formación continua de ATI (Asociación de Técnicos de Informática). Novática edita también Upgrade, revista digital de CEPIS (Council of European Professional Informatics Societies), en lengua inglesa.

<<http://www.ati.es/novatica/>>  
<<http://www.upgrade-cepis.org/>>

ATI es miembro fundador de CEPIS (Council of European Professional Informatics Societies) y tiene un acuerdo de colaboración con ACM (Association for Computing Machinery). Tiene asimismo acuerdos de vinculación o colaboración con AdaSpain, AIZ y ASTIC.

## CONSEJO EDITORIAL

Antoni Carbonell Nogueras, Francisco López Crespo, Julián Margelo Cocho, Celestino Martín Alonso, Josep Molás i Bertran, Roberto Moya Quiles, César Pérez Chirinos, Mario Piattini Velthuis, Fernando Píera Gómez (Presidente del Consejo), Miquel Sarrés Grifó, Asier Urbión Herranz

Coordinación Editorial  
Rafael Fernández Calvo <[r/calvo@ati.es](mailto:r/calvo@ati.es)>  
Composición y autoedición

Jorge Llácer  
Traducciones  
Grupo de Lengua e Informática de ATI <<http://www.ati.es/g/lengua-informatica/>>  
Administración  
Tomás Brunete, María José Fernández, Enric Camarero, Felicidad López

## SECCIONES TÉCNICAS: COORDINADORES

Administración Pública electrónica  
Gumersindo García Arribas, Francisco López Crespo (MAP)  
<[gumersindo.garcia@map.es](mailto:gumersindo.garcia@map.es)>, <[flc@ati.es](mailto:flc@ati.es)>  
Arquitecturas  
Jordi Tubella (DAC-UPC) <[jortid@ac.upc.es](mailto:jortid@ac.upc.es)>  
Victor Vilakis Yifera (Univ. de Zaragoza) <[vicvitor@unizar.es](mailto:vicvitor@unizar.es)>  
Auditoría TIC  
Marina Touriño, Manuel Palao (ASIA)  
<[marinatourino@marinatourino.com](mailto:marinatourino@marinatourino.com)>, <[manuel@palao.com](mailto:manuel@palao.com)>  
Bases de datos  
Coral Calero Muñoz, Mario G. Piattini Velthuis  
(Escuela Superior de Informática, UCLM)  
<[Coral.Calero@uclm.es](mailto:Coral.Calero@uclm.es)>, <[mpiattini@inf-cr.uclm.es](mailto:mpiattini@inf-cr.uclm.es)>  
Derecho y tecnologías  
Isabel Hernando Collazos (Fac. Derecho de Donostia, UPV) <[ihernando@legaltek.net](mailto:ihernando@legaltek.net)>  
Isabel Davara Fernández de Marcos (Davara & Davara) <[isdavara@davara.com](mailto:isdavara@davara.com)>  
Enseñanza Universitaria de la Informática  
Joaquín Ezpeleta Mateo (CPS-UZAR) <[ezpeleta@posta.unizar.es](mailto:ezpeleta@posta.unizar.es)>  
Cristóbal Pareja Flores (DSIP-UCM) <[cpajef@dsip.ucm.es](mailto:cpajef@dsip.ucm.es)>  
Gestión del Conocimiento  
Juan Baiget Solé (Cap Gemini Ernst & Young) <[jbaiget@uoc.edu](mailto:jbaiget@uoc.edu)>  
Informática y Filosofía  
Josep Corco (UIC) <[jcorco@unica.edu](mailto:jcorco@unica.edu)>  
Esperanza Marcos (ESCET-URJC) <[cuca@escet.urjc.es](mailto:cuca@escet.urjc.es)>  
Informática Gráfica  
Miguel Chover Sellés (Universitat Jaume I de Castellón) <[mchover@lsi.uji.es](mailto:mchover@lsi.uji.es)>  
Roberto Vivero (Eurographics, sección española) <[rvivero@dsic.upv.es](mailto:rvivero@dsic.upv.es)>  
Ingeniería del Software  
Javier Dolado Cosin (DLSI-UPV) <[dolado@si.ehu.es](mailto:dolado@si.ehu.es)>  
Luis Fernández (PRIS-EI-UEM) <[lufern@pris.esi.uem.es](mailto:lufern@pris.esi.uem.es)>  
Inteligencia Artificial  
Federico Barber Vicente Botti (DSIC-UPV)  
<[fvbotti@barber.com](mailto:fvbotti@barber.com)>  
Interacción Persona-Computador  
Julio Abascal González (FI-UPV) <[julio@si.ehu.es](mailto:julio@si.ehu.es)>  
Jesus Lorés Vidal (Univ. de Lleida) <[jesus@eup.udl.es](mailto:jesus@eup.udl.es)>  
Internet  
Alonso Álvarez García (TID) <[alonso@ati.es](mailto:alonso@ati.es)>  
Llorenç Pagés Casas (Indra) <[pages@ati.es](mailto:pages@ati.es)>  
Lenguaje Informático  
M. del Carmen Ugarte (IBM) <[cugarte@ati.es](mailto:cugarte@ati.es)>  
Lenguajes Informáticos  
Andrés Marín López (Univ. Carlos III) <[amarin@it.uc3m.es](mailto:amarin@it.uc3m.es)>  
J. Ángel Velázquez (ESCET-URJC) <[a.velazquez@escet.urjc.es](mailto:a.velazquez@escet.urjc.es)>  
Librerías de Informática  
Alfonso Escolano (FIR-Univ. de La Laguna) <[aescolano@ull.es](mailto:aescolano@ull.es)>  
Linguística Computacional  
Xavier Gómez Guinovart (Univ. de Vigo) <[xgg@uvigo.es](mailto:xgg@uvigo.es)>  
Manuel Palomar (Univ. de Alicante) <[mpalomar@dsi.ua.es](mailto:mpalomar@dsi.ua.es)>  
Mundo Estudiantil  
Adolfo Vázquez Rodríguez (Rama de Estudiantes del IEEE-UCM)  
<[a.vazquez@ieee.org](mailto:a.vazquez@ieee.org)>  
Profesión Informática  
Rafael Fernández Calvo (ATI) <[r/calvo@ati.es](mailto:r/calvo@ati.es)>  
Miquel Sarrés Grifó (Ayto. de Barcelona) <[msarries@ati.es](mailto:msarries@ati.es)>  
Redes y servicios telemáticos  
Luis Guijarro Coloma (DCOM-UPV) <[lguijar@dc.com.upv.es](mailto:lguijar@dc.com.upv.es)>  
Josep Solé Pareta (DAC-UPC) <[pareta@ac.upc.es](mailto:pareta@ac.upc.es)>  
Seguridad  
Javier Arellito (Redes y Sistemas, Bilbao) <[jarellito@orion.deusto.es](mailto:jarellito@orion.deusto.es)>  
Javier López Muñoz (ETSI Informática-UMA) <[jlm@cc.uma.es](mailto:jlm@cc.uma.es)>  
Sistemas de Tiempo Real  
Alejandro Alonso, Juan Antonio de la Puente  
(DIT-UPM) <[aalonso@ipjunte.com](mailto:aalonso@ipjunte.com)>  
Software Libre  
Jesus M. González Barahona, Pedro de las Heras Quirós  
(GSYC-URJC) <[@gsyc.escet.urjc.es">jfgb.pheras@gsyc.escet.urjc.es](mailto:jfgb.pheras)>  
Tecnología de Objetos  
Jesus Garcia Molina (DIS-UM) <[jmolina@correo.um.es](mailto:jmolina@correo.um.es)>  
Gustavo Rossi (LIFIA-UNLP, Argentina) <[gustavo@sol.info.unpl.edu.ar](mailto:gustavo@sol.info.unpl.edu.ar)>  
Tecnologías para la Educación  
Juan Manuel Dodero Beardo (UC3M) <[jdodero@inf.uc3m.es](mailto:jdodero@inf.uc3m.es)>  
Francisco Rivero Palomares (ATI) <[frivero@wanadoo.es](mailto:frivero@wanadoo.es)>  
Tecnologías y Empresa  
Pablo Hernández Medrano (Bluemat) <[pablohm@bluemat.biz](mailto:pablohm@bluemat.biz)>  
TIC para la Sanidad  
Valentín Masero Vargas (DI-UNEX) <[vmasero@unex.es](mailto:vmasero@unex.es)>  
TIC y Turismo  
Andrés Aguayo Maldonado, Antonio Guevara Plaza (Univ. de Málaga)  
<[aguayo.guevara@icc.uma.es](mailto:aguayo.guevara@icc.uma.es)>

Las opiniones expresadas por los autores son responsabilidad exclusiva de los mismos. Novática permite la reproducción de todos los artículos, salvo los marcados con © o copyright, debiéndose en todo caso citar su procedencia y enviar a Novática un ejemplar de la publicación.

Coordinación Editorial, Redacción Central y Redacción ATI Madrid  
Padilla 66, 3º dcha., 28006 Madrid  
Tfn. 91 4029391; fax 91 3093685 <[novatica@ati.es](mailto:novatica@ati.es)>  
Composición, Edición y Redacción ATI Valencia  
Av. del Reino de Valencia 23, 46005 Valencia  
Tfn./fax 963330392 <[cepreval@ati.es](mailto:cepreval@ati.es)>  
Administración y Redacción ATI Cataluña  
Via Laietana 41, 1º, 08003 Barcelona  
Tfn. 93 4125235; fax 93 4127713 <[cecregen@ati.es](mailto:cecregen@ati.es)>  
Redacción ATI Andalucía  
Isaac Newton, s/n, Ed. Sadiel,  
Isla Cartuja 41092 Sevilla, Tfn./fax 954460779 <[cecreand@ati.es](mailto:cecreand@ati.es)>  
Redacción ATI Aragón  
Lagasca 9, 3-B, 50006 Zaragoza  
Tfn./fax 976235181 <[cecreara@ati.es](mailto:cecreara@ati.es)>  
Redacción ATI Asturias-Cantabria  
<[gp-astucan@ati.es](mailto:gp-astucan@ati.es)>  
Redacción ATI Castilla-La Mancha  
<[gp-clmancha@ati.es](mailto:gp-clmancha@ati.es)>  
Redacción ATI Galicia  
Recinto Ferial s/n, 36540 Silleda (Pontevedra)  
Tfn. 986581413; fax 986580162 <[cecregal@ati.es](mailto:cecregal@ati.es)>  
Suscripción y Ventas  
<<http://www.ati.es/novatica/interes.html>>, o en ATI Cataluña o ATI Madrid  
Publicidad  
Padilla 66, 3º dcha., 28006 Madrid  
Tfn. 91 4029391; fax 91 3093685 <[novatica.publicidad@ati.es](mailto:novatica.publicidad@ati.es)>  
Imprenta  
9 impressió S.A., Juan de Austria 66, 08005 Barcelona.  
Depósito legal: B 15.154-1975 -- ISSN: 0211-2124; CODEN NOVAC E  
Portada: Antonio Crespo Foix / © ATI 2004  
Diseño: Fernando Agresta / © ATI 2004

## editorial

**ATI contra el cánón privado sobre soportes digitales en resumen**

**Redes e historia**  
Rafael Fernández Calvo

## monografía

**Redes Inalámbricas: una nueva era en las Telecomunicaciones**

(En colaboración con Upgrade).

Editores invitados: M. Ufuk Çağlayan, Vicente Casares Giner y Jordi Domingo i Pascual

**Presentación. Redes de acceso inalámbricas:**

**hacia las comunicaciones móviles integradas**

> 03

Vicente Casares Giner, Jordi Domingo Pascual

**¿Cuál es la extensión óptima de un enlace inalámbrico?**

> 06

M. Ufuk Çağlayan, Fikret Sivrikaya, Bülent Yener

**Capacidad en Sistemas Celulares WCDMA: Métodos de Análisis**

> 11

Luis Mendo Tomás

**Perspectiva de la gestión de recursos radio en las redes celulares**

> 15

Oriol Salent Roig, Jordi Pérez Romero, Ramón Agustí Comes

**Estrategias de Gestión de Localización en la próxima generación**

**de Sistemas de Comunicaciones Móviles**

> 20

Pablo García Escalle, Vicente Casares Giner

**Movilidad IP: macromovilidad, micromovilidad, calidad de servicio y seguridad**

> 28

Josep Mangles Bañalluy, Albert Cabellos Aparicio, René Serral Gracià, Jordi Domingo Pascual,

Antonio Gómez Skarmeta, Tomás P. de Miguel, Marcelo Bagnulo, Alberto García Martínez

**Redes Inalámbricas ad hoc como tecnología de soporte para la Computación Ubicua**

> 33

Juan Carlos Cano Escrivá, Carlos Miguel Tavares Calafate,

Manuel José Pérez Malumbres, Pietro Manzoni

**Las WPAN en el trayecto hacia la 4G**

> 39

Ramón Agüero Calvo, Johnny Choque Ollachica, José Ángel Irastorza Teja,

Luis Muñoz Gutiérrez, Luis Sánchez González

## secciones técnicas

### Bases de Datos

**Diseño lógico de Almacenes de Datos: efectividad del diseño en estrella**

> 44

Coral Calero Muñoz, Mario Piattini Velthuis, Manuel A. Serrano Martín

**Enseñanza Universitaria de la Informática**

**La Asociación de Enseñantes Universitarios de Informática (AENUI)**

> 47

Pedro Blesa Pons, Joe Miró Julià, Francisco Ruiz González

### Informática Gráfica

**Visualización de terreno en tiempo real**

> 50

Cristina Rebollo Santamaría, Inmaculada Remolar Quintana, Miguel Chover Sellés

### Ingeniería del Software

**Buscando el Santo Grial de la Ingeniería del Software**

> 54

Robert L. Glass

### Interacción Persona-Computador

**Patrones de interfaz de usuario para la navegación orientada a objetos**

> 55

Pedro Juan Molina Moreno, Ismael Torres Boigues, Oscar Pastor López

### Redes y servicios telemáticos

**Análisis y Diseño de Políticas de Control de Admisión**

> 61

**en Redes Celulares Multiservicio**

Vicent Pla Boscà, Vicente Casares Giner

**Referencias autorizadas**

> 68

## sociedad de la información

### programar es crear

**Subcadenas en la secuencia "mira-y-di" (CUPCAM 2003, problema C, enunciado)**

> 73

Óscar Martín Sánchez, Manuel Carro Liñares

**Reconstrucción de árboles inclinados a partir de dos de sus recorridos**

> 74

(CUPCAM 2003, problema B, solución)

Cristóbal Pareja Flores, Ángel Herranz Nieva

## asuntos internos

**Coordinación editorial / Programación de Novática**

> 76

**Normas de publicación para autores / Socios Institucionales**

> 77

Monografía del próximo número: "UML (Unified Modeling Language)"

Vicente Casares Giner<sup>1</sup>,  
Jordi Domingo Pascual<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Depto. de Comunicaciones, ETSIT, Universidad Politécnica de Valencia; <sup>2</sup> Dept. d'Arquitectura de Computadors, Universitat Politècnica de Catalunya

<vcasares@doom.upv.es>,  
<jordi.domingo@ac.upc.es>

## 1. Introducción: una breve reseña histórica

Durante el pasado siglo XX las telecomunicaciones han consolidado un nuevo estilo de vida para la humanidad. Los hitos que marcan la antesala de las telecomunicaciones se ubican en el siglo XIX, testigo de la invención del telégrafo en la década de 1830 por Samuel Finley Breese Morse (Charlestown 1791-Nueva York 1872) y la del teléfono en 1876 por Alexander Graham Bell (Edimburgo 1847-Cape Breton 1922), éste último, al parecer, en paralelo con el estadounidense Elisha Gray.

Tras la invención del teléfono, pese a la cercana y pionera experiencia del telégrafo, la extensión de las redes telefónicas fue considerablemente mayor. Ambos servicios crecieron de forma independiente, tanto tecnológica como administrativamente. A mediados del siglo XX los servicios telefónicos y telegráficos se ofrecían por redes distintas, internacionalmente reguladas por distintos comités. De un lado, por el CCIF (Comité Consultivo Internacional de Telefonía) y del otro, por el CCIT (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía), respectivamente fundados en 1924 y 1925. Más tarde, en 1956 el CCIT y el CCIF se unificaron en el Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía (CCITT).

También los siglos XIX y XX dieron entrada a los inicios y posterior consolidación comercial de los servicios de radiodifusión (radio y televisión). En televisión, las primeras ideas para la realización de los sistemas se expusieron en la década de 1870. Contribuciones notables se dieron en la siguiente década, mereciendo citarse las del francés Maurice Leblanc (1864-1941) en 1880 y las del alemán Paul Nipkov (1860-1940) en 1884. En radio, al margen de antecedentes en el siglo XIX, en 1920 se asistió al inicio de la radiodifusión sonora en los estudios de la Empresa Marconi, y en 1927 se fundó el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR). Posteriormente en 1941 se iniciaron transmisiones regulares de radio con la técnica FM (modulación de frecuencia), cuya invención se debe a E.H. Armstrong (1890 - 1954).

En 1993 desaparecen el CCITT y el CCIR para dar paso a la UIT ((Unión Internacional de Telecomunicaciones, <<http://www.itu.int/home/index-es.html>>), con dos ramas UI-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Telecomunicación) y la UIT-R (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Radiocomunicaciones), respectivamente. La fundación de aquellos comités y la posterior fusión entre ellos han sido pasos necesarios para hacer posible la interconexión internacional entre redes heterogéneas y para responder más eficazmente a las necesidades que generaba el desarrollo de las telecomunicaciones. Añadir una tercera, la UIT-D (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Desarrollos), básicamente encargada de ayudar a países en vías de desarrollo en materias de Telecomunicación.

## 2. La radio celular como bucle de abonado inalámbrico

Hoy en día, el bucle de abonado telefónico, el de cobre, llega a la práctica totalidad de los hogares del mundo occidental. Sin embargo, la necesidad de movilidad en determinados grupos sociales hizo nacer la radio móvil. Se utilizó por primera vez en 1921 en EE.UU. cuando el Depto. de Policía de Detroit utilizó un sistema de radio móvil que operaba a una frecuencia en torno a los 2 MHz. Posteriormente, en 1940, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Federal Communications Commission — <<http://www.fcc.gov/>>) dispuso nuevas frecuencias para la radio móvil en la banda de frecuencia de 30 a 40 MHz.

Con el transcurrir del tiempo la telefonía móvil se popularizó en los EEUU. En la década de 1960, de un primer servicio manual se pasó al servicio de marcación automática, en la banda de 450 MHz, y a los sistemas de telefonía móvil mejorados (IMTS, Improved Mobile Telephone Service), que a su vez evolucionaron al servicio de telefonía móvil estándar de los EE.UU. Otros esfuerzos siguieron delineando el principio de la radio celular, culminando en el primer sistema comercial, el AMPS-900 (Advanced Mobile Phone Service) que entró en servicio a primeros de la década de 1980.

## Presentación.

# Redes de acceso inalámbricas: hacia las comunicaciones móviles integradas

Caro de instalar y de mantener, el par de cobre telefónico a veces ha resultado prohibitivo incluso en países con elevada renta per cápita. Tal fue la situación de los países nórdicos con población diseminada en grandes extensiones de terreno (p. e., Suecia tiene unos ocho millones de habitantes y su longitud de norte a sur viene a ser la distancia de Copenhague a Nápoles). Los países escandinavos fueron pioneros en el servicio de telefonía móvil, tecnología que les permitió, por un lado, afrontar la carestía de una instalación tradicional (bucle de abonado) y, por otra, aportar el valor añadido de la movilidad. También a principios de los 1980 la telefonía móvil celular comienza su expansión en Europa. En esta década asistimos a la comercialización de sistemas celulares analógicos constituyendo la primera generación de sistemas celulares. Además del AMPS americano, en la familia de sistemas celulares analógicos citamos el Nordic Mobile Telephony (NMT-450 y NMT-900), el TACS-900 (Total Access Communications System) británico, de concepción tecnológica muy similar al AMPS, el sistema C alemán (C-900), etc.

En Europa, la falta de interoperabilidad entre sistemas tecnológicamente distintos dificultaba la itinerancia (roaming) internacional entre operadores. En 1982, auspiciado por la CEPT (Conference Européenne des Postes et Telecommunications) el Grupo Especial de Móviles (Groupe Special Mobile, GSM) inició los trabajos examinados hacia la obtención de un sistema móvil de telefonía celular digital, cuyos resultados dieron lugar al sistema GSM de segunda generación. GSM es un sistema paneuropeo que ofrece mayor capacidad que sus predecesores, permite itinerancia europea y puede evolucionar para ir incorporando nuevas tecnologías, servicios y aplicaciones.

Estructuradas en fases cronológicas, la especificación de la fase I del sistema GSM concluyó en 1991 con los servicios de voz y las primeras redes se desplegaron inmediatamente. La fase 2 incorpora nuevos servicios (SMS o Short Message Service, nuevos servicios portadores, ...) y concluyó en 1997. La fase 2+ fundamentalmente incorpora los servi-

### Editores invitados

**M. Ufuk Çaglayan** obtuvo su títulos de Diplomado y Licenciado en Informática en la Middle East Technical University de Ankara (Turquía) en 1973 y 1975 respectivamente, y su Doctorado en la Northwestern University, Evanston (Illinois, EE.UU.), en 1981. Impartió clases en la DePaul University, la Northwestern University, ambas en los EE.UU., y en la University of Petroleum and Minerals, Dhahran (Arabia Saudita). Trabajó como informático en la empresa BASF AG, Ludwigshafen (Alemania). Actualmente es profesor titular en el Dpto. de Ingeniería Informática de la Bogazici University, Estambul (Turquía).

**Vicente Casares Giner** se graduó como Ingeniero de Telecomunicación en octubre de 1974 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT) de Madrid. Obtuvo el título de

Dr. Ingeniero en Telecomunicación en septiembre de 1980 en la ETSIT de Barcelona. De 1974 a 1983 trabajó en problemas relacionados con el procesado de señal, procesado de imágenes y aspectos de propagación en sistemas de radioenlaces. En la primera mitad de 1984 estuvo en el Royal Institute of Technology (Estocolmo). Desde entonces está dedicado al teletráfico y teoría de colas. De 1992 a 1994 trabajó en modelos de movilidad en los proyectos europeos MONET, ATDMA del programa RACE y en OBAnet del programa IST. De septiembre 1994 a agosto de 1995 estuvo en el WINLAB, Rutgers University. Desde 1991 es catedrático, donde empezó en Universidad Politécnica de Catalunya. En septiembre de 1996 se trasladó a la Universidad Politécnica de Valencia. Trabaja en temas relacionados con sistemas inalámbricos, y especialmente en la evaluación de prestaciones.

**Jordi Domingo Pascual** es Ingeniero de Telecomunicación (ETSETB UPC), Doctor en Informática (FIB UPC) y Catedrático de Universidad del Departament d'Arquitectura de Computadors (UPC). Promotor y fundador del Centro Específico de Investigación de Comunicaciones Avanzadas de Banda Ancha (CCABA) de la UPC. Ha participado en diversos proyectos de investigación y ha sido responsable, o ha participado, en proyectos financiados por la CICYT, así como en proyectos de I+D como Internet2 Catalunya (i2CAT), siendo responsable de la infraestructura de comunicaciones de banda ancha (proyecto GigaCAT). Ha participado en diversos proyectos de cooperación europeos como representante español. Más información en <<http://personals.ac.upc.es/jordid/>> y <<http://www.ccaba.upc.es>>.

cios GPRS (General Packet Radio Service, modo conmutación de paquetes, para transferencia de datos a ráfagas, tales como correo electrónico y WWW) y HSCSD (High Speed Circuit Switched Data, modo conmutación de circuitos, para transferencia de ficheros y para aplicaciones de video móvil). Pese a ser concebido en Europa, GSM ha sido adoptado por otros operadores fuera del viejo continente. El éxito de GSM ha sido tal que al comienzo del siglo XXI el número de terminales móviles GSM en el mundo se acerca al 70 % del total.

La demanda creciente en el espectro de frecuencia de telefonía móvil saturado impulsó a la FCC a buscar un modo de proporcionar una eficiencia del espectro de frecuencia mayor. Ya en 1971 AT&T hizo una propuesta sobre la posibilidad técnica de proporcionar respuesta a dicho problema; se comenzaba a delinear el principio de la radio celular, que entraría en servicio en distintos países a primeros de los 80, con AMPS, NMT, ETACS (Extended Total Access Communications System), etc. y una década más tarde con GSM, D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service), PCD (Personal Digital Cellular), etc. y ya en los albores del siglo XXI con UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y CDMA-2000 (Code Division Multiple Access 2000), pasando por GPRS, WAP (Wireless Application Protocol), I-mode, etc., sin olvidar los mensajes cortos SMS, que tanto éxito tienen y que ya suponen una parte importante de los ingresos de los operadores, y dan paso a los MMS (Multimedia Messaging Service), propios de los sistemas de 3G (tercera generación).

### 3. Acceso inalámbrico: situación actual

Es trascendental el papel que en nuestra sociedad desempeñan los terminales móviles hoy en día. La idea de movilidad ha calado en nuestros hábitos cotidianos, tanto los referentes al trabajo como a la vida privada, tanto en jornada laboral como en días de ocio y/o de descanso. La idea de estar siempre comunicables en tiempo y en espacio se ha convertido en una necesidad, lo que ha conllevado el diseño de nuevas tecnologías y redes de acceso inalámbricas, las cuales se han venido clasificando en familias. Además de los sistemas celulares también tenemos los sistemas cordless, las redes locales inalámbricas WLAN (Wireless Local Area Network) y los sistemas vía satélite. La situación actual de las tres primeras brevemente se relata a continuación.

#### 3.1. Sistemas Celulares

Los sistemas celulares también son conocidos como sistemas WWAN (Wireless Wide Area Network). Se espera que la segunda generación (2G) le suceda una tercera 3G, en forma evolutiva, con mayores coberturas y velocidades, ofreciendo una amplia gama de servicios: conversacional (telefonía, Voz sobre IP (VoIP),...), interactivo (navegación web, acceso a bases de datos, ...), de flujo continuo (video, descargas bajo demandas, ...) y background (correo electrónico,...).

Si bien los sistemas celulares 2G han cosechado un tremendo éxito debido a las llamadas killer apps (aplicaciones rompedoras) como alta calidad de voz, servicio SMS, ...; por contra, el desarrollo de los sistemas 3G va progresando con mayor lentitud de la prevista, posiblemente debido al enfriamiento de la economía, a ciertas dificultades tecnológicas en su implementación y también por la aparición de tecnologías alternativas con menor coste y mayor velocidad tales como las WLAN. Un componente ya fundamental en 3G lo constituye el sistema UMTS, diseñado básicamente en Europa. Es, junto con los sistemas CDMA-2000 y UWC-136 (Universal Wireless Communications) norteamericanos y el ARIB-CDMA (Association of Radio Industries and Businesses - Code Division Multiple Access) del Pacífico asiático, la solución para IMT-2000, dentro del marco que la UIT ha definido para 3G. Los nuevos servicios 3G combinan el acceso móvil de

alta velocidad con los servicios basados en el protocolo IP. Los sistemas 3G contemplan una solución all-IP, con el fin de ofrecer los servicios avanzados que hoy nos da Internet: audio de alta calidad, VoIP, video en movimiento, y servicios multimedia en general. Algunos de estos servicios ya se empiezan a ofrecer en las tecnologías 2.5G (GSM/GPRS, I-mode, WAP, Bluetooth, etc.) que actúan de puente migratorio "seamless" hacia la 3G.

#### 3.2. Sistemas Inalámbricos (Cordless)

También son conocidos como 'telefonía inalámbrica'. Desde un principio, su principal objetivo fue el ofrecer servicio telefónico de calidad estándar a la Red Pública de Conmutación de Circuitos (PSTN, Public Switched Telephone Network) en áreas inferiores a los 500 metros. Nacieron como el fin de satisfacer el requerimiento de movilidad local, en el hogar, en la oficina, en puntos de alta concentración (aeropuertos, estaciones de FFCC, ...). La primera generación (1G) de sistemas inalámbricos nació a primeros de 1980, con tecnología analógica (CT0, CT1, ..., Committee Tn). Tras un corto período de existencia de los cordless de 1G, aparecieron los sistemas 2G, con tecnología digital (CT2, ...) y más tarde los de 3G (DECT, PHS, PACS, ...). DECT (Digital European Cordless Telecommunications) es el cordless del ETSI (European Telecommunications Standards Institute, 1991).

PHS (Personal Handyphone System) es el cordless japonés del RDCRC (Research and Development Center for Radio Communications) cuya comercialización en los países del este asiático arrancó en 1995. PACS (Personal Access Communications System) es el cordless americano, auspiciado por el ANSI (American National Standard Institute, 1996), siendo WACS (Wide Area Communications System, 1994) su nombre original.

Son muchas las aplicaciones que ofrecen los inalámbricos de 3G. Incluyen servicio de telefonía residencial, acceso WLL (Wireless Local Loop) y el acceso a redes de área local (WLAN, Wireless Local Area Network). Todos ellos incorporan mecanismos de autenticación y encriptación. No obstante, a pesar de la alta calidad y diversidad de aplicaciones, su futuro está algo cuestionado, pues se pronostica una absorción de sus funcionalidades por los sistemas celulares 3G.

#### 3.3. Sistemas WLAN

Los orígenes de las WLAN se remontan a finales de los 1970, tras los resultados esperanzadores que obtuvieron ingenieros de IBM en Suiza en la banda de infrarrojos, con el fin de crear una red local inalámbrica. Posteriormente, surgió el deseo de suprimir el cableado de las redes locales en entornos administrativos y el requerimiento de altas velocidades entre ordenadores. A mediados de 1985 la FCC asignó la banda ISM (Industrial, Scientific and Medicine) de 2.4 GHz para el uso de redes inalámbricas con modulación por espectro ensanchado (Spread Spectrum).

Hoy en día existen dos importantes estándares, el IEEE802.11 y el HiperLAN (High Performance Radio Local Area Network). El IEEE802.11 es un grupo creado en 1989 que emerge del IEEE802, con el fin de generar una norma para WLAN. El primer borrador aparece en 1994 y en 1999 se da por finalizada la norma. El HiperLAN, auspiciado por el ETSI en 1996, generó una norma con excelentes resultados, recibiendo apoyo de numerosas empresas del sector (Nokia, Telia, Ericsson, ...). Sin embargo, es la norma IEEE802.11 (popularmente conocida como WiFi — Wireless Fidelity) la que está teniendo un mayor éxito comercial.

IEEE802.11 ofrece dos opciones de operación: infraestructura de red inalámbrica e infraestructura

de redes ad hoc. La primera presenta infraestructura de red fija cableada y los terminales móviles se comunican directamente con los denominados puntos de acceso a la red. Es una solución apropiada para entornos en donde los puntos de acceso son fáciles de instalar. La segunda es de más fácil despliegue pues no se precisa red troncal cableada, todos los nodos pueden estar en movimiento libre y sirven mediante encaminadores (routers), siendo sus costes más bajos. Son redes también conocidas por el acrónimo MANET (Mobile Ad hoc Networks).

#### 4. Estructura de esta monografía

Esta monografía sobre redes inalámbricas, consta de una serie de artículos elaborados por autores nacionales e internacional. Incluyen diversas temáticas, servicios VoIP, servicios de localización sobre redes WLAN, sistemas de distribución de información en lugares críticos (hot-spots), aspectos de cobertura y calidad en redes ad hoc, capacidad y gestión de los recursos de radio en redes 2G y 3G, aspectos de seguimientos de móviles, gestión de la macro-movilidad y micro-movilidad en entornos IP, aplicaciones para redes ad hoc y el papel de las WPAN (Wireless Personal Area Network) en sistemas de 4G. El conjunto constituye por tanto un botón de muestra del 'estado del arte', de aplicaciones y de algunas líneas de investigación en redes celulares y WLAN. Resumiremos brevemente a continuación el contenido de los artículos.

El impacto de la asignación estática de potencia en una red ad hoc es discutida en el artículo "Cuál es la extensión máxima de un enlace inalámbrico?" de M. Ufuk Çağlayan, Fikret Sivrikaya y Bülent Yener. Tal asignación ha de efectuarse de manera que, manteniendo una elevada conectividad entre los nodos de red, la interferencia que reciban los terminales móviles ha de ser mínima. Los autores aportan soluciones mediante la propuesta de dos algoritmos basados en programación lineal.

La capacidad de los sistemas celulares de 3G es de vital importancia. El elemento básico es el servicio portador, básicamente sustentado sobre la tecnología WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Servicios heterogéneos (interactivos, conversacionales, de background y de flujo continuo) han de ser soportados simultáneamente. El artículo "Capacidad en Sistemas Celulares WCDMA: Métodos de Análisis" de Luis Mendo Tomás revisa los métodos de análisis de capacidad en sistemas WCDMA de 3G y los aspectos relacionados. El estudio se centra en la interfaz radio, por ser la parte de la red que limita la capacidad.

La convergencia hacia los sistemas celulares de tercera generación (3G) se prevé de forma gradual. Los sistemas 2G, como el GSM, continuarán evolucionando y aportarán nuevas funcionalidades y servicios de la mano de GPRS, EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution), HSCSD, ... mientras los técnicos van familiarizándose con la tecnología radio WCDMA al tiempo que se está preparando la fase de comercialización de las redes 3G. El artículo "Perspectiva de la gestión de recursos radio en las redes celulares", de Oriol Sallent Roig, Jordi Pérez Romero y Ramón Agustí Comes, se adentra en la problemática de la gestión de recursos en sistemas de 2G, 2.5G y 3G. Los autores consideran que habrá una pléthora de tecnologías que conformarán y coexistirán en el camino hacia 3G, y discuten la necesidad de su interconexión e interoperabilidad, con el requerimiento de un concepto global y común, el RRM (Radio Resource Management).

En relación a la gestión de movilidad tenemos dos artículos: el primero "Estrategias de Gestión de Localización en la próxima generación de Sistemas de Comunicaciones Móviles", de Pablo García Escalle y Vicente Casares Giner, es un estudio de conjunto acerca de las técnicas y algoritmos empleados en la gestión de localización en los sistemas

de comunicaciones móviles celulares actuales y futuros.

El segundo, "Movilidad IP: macromovilidad, micromovilidad, calidad de servicio y seguridad", de Josep Mangues Bafalluy, Albert Cabellos Aparicio, René Serral Gracià, Jordi Domingo Pascual, Antonio Gómez Skarmeta, Tomás P. de Miguel, Marcelo Bagnulo y Alberto García Martínez, trata los aspectos relacionados con la movilidad a nivel IP y superiores en algunos casos, poniendo especial énfasis en los mecanismos de macro-movilidad con solución Mobile IP, de micro-movilidad con solución Cellular IP, calidad de servicio y aspectos de seguridad.

En lo que se refiere a redes ad hoc, el artículo "Redes Inalámbricas ad hoc como tecnología de soporte para la Computación Ubicua", de Juan Carlos Cano Escrivá, Carlos Miguel Tavares Calafate, Manuel José Pérez Malumbres y Pietro Manzoni, se centra en aplicaciones que puede soportar una red ad hoc. Discuten el uso de Bluetooth e IEEE 802.11 como tecnologías candidatas para proporcionar acceso a la red a las aplicaciones de computación ubicua, caso de la aplicación experimental UbiqMuseum, que se describe como ejemplo de utilización de las mencionadas tecnologías inalámbricas.

Los sistemas inalámbricos de 4-G se vislumbran como una integración de muchas tecnologías coexistiendo en escenarios comunes. El último artículo, "Las WPAN en el trayecto hacia la 4G", de Ramón Agüero Calvo, Johnny Choque Ollachica, José Ángel Irastorza Teja, Luis Muñoz Gutiérrez y Luis Sánchez González, se adentra en el papel que pueden desempeñar las WPAN en lo que será la 4G. Los autores esbozan una visión de la 4G, consistente en facilitar el acceso a una gran diversidad de servicios de forma transparente e ubicuidad total, integrando tecnologías en un mismo entorno y procurando la cooperación entre diferentes redes.

Finalmente, nos resta por agradecer el esfuerzo de los autores por su inestimable colaboración en esta monografía. Nuestro agradecimiento también a los editores de Novática y Upgrade por promover esta monografía y por el trabajo de coordinación y edición aportado. Esperamos y deseamos que su lectura sea provechosa.

**Nota del Editor de Novática:** por razones de espacio no se incluyen en esta monografía los siguientes artículos: "VoIP Services for Mobile Networks" de **Ai-Chun Pang** y **Yi-Bing Li**; "WLAN Tracker: Location Tracking and Location Based Services in Wireless LANs", de **Can Komar** y **Cem Ersoy**, y "Dissemination of Popular Data in Distributed Hot Spots", de **Mehmet Yunus Donmez**, **Sinan Isik** y **Cem Ersoy**.

Todos estos artículos aparecerán en próximos números de **Novática**, en castellano, y han sido publicados en el número 1/2004 de **Upgrade**, <<http://www.upgrade-cepis.org>>, en inglés.

## Referencias útiles sobre "Redes Inalámbricas"

Ofrecemos una lista no exhaustiva de recursos sobre el tema objeto de esta monografía, lista que, junto a las referencias incluidas en los artículos que componen la misma, permitirán que los lectores que lo deseen puedan tener un conocimiento más amplio del asunto objeto de la misma.

### Libros

- T. S. Rappaport. Wireless Communications. Principles and Practice, 1996.
- D. J. Goodman. Wireless Personal Communications Systems. Addison Wesley, 1997.
- J. M. Huidobro Moya. Comunicaciones Móviles. Paraninfo 2002.
- Y-B Lin et al. Wireless and mobile networks architectures. John Wiley, 2001
- C. Perkins. Mobile IP. Design Principles and Practices. Addison Wesley, 1997.
- C. Perkins (editor). Ad-Hoc Networking. Addison Wesley, 2000.
- A. J. Viterbi. CDMA. Principles of Spread Spectrum Communication, 1995.

### Sitios web

- 3rd Generation Partnership Project (3GPP): <<http://www.3gpp.org/>>.
- Association of Radio Industries and Businesses (ARIB): <<http://www.arib.or.jp/english/>>.
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute): <<http://www.etsi.org/>>.
- Grupo MANET (Mobile Ad-hoc Networks) de la IETF (Internet Engineering Task Force): <<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>>.
- GSM World (GSM Association): <<http://www.gsmworld.com/>>.
- IEEE Mobile Broadband Wireless Access Working Group (MBWA): <<http://grouper.ieee.org/groups/802/20/index.html>>.
- UMTS Forum: <<http://www.umts-forum.org/>>.

### Publicaciones de editoriales

- Revistas de Kluwer Academic Publisher, <<http://www.wkap.nl/>>:
  - Mobile Networks and Applications.
  - Multimedia Tools and Applications An International Journal.
  - Wireless Networks. The Journal of Mobile Communications, Computation and Information.
  - Wireless Personal Communications. An International Journal.

- Telecommunication Systems. Modeling, analysis, Design and Management.

■ Revistas de Wiley Europe, <<http://www.wiley-europe.com/>>:

- Wireless Communications & Mobile Computing.

■ Revistas de Wiley Interscience, <<http://www3.interscience.wiley.com/>>:

- European Transactions on Telecommunications.

■ Revistas de Elsevier Science, <[http://www.elsevier.com/wps/find/journal\\_browse.cws\\_home](http://www.elsevier.com/wps/find/journal_browse.cws_home)>:

- Computer Communications.  
- Computer Networks.

### Publicaciones de sociedades

■ IEEE Communications Society, <<http://www.comsoc.org/>>:

- IEEE Communications Magazine.  
- IEEE Network.  
- IEEE Wireless Communications.  
- IEEE Transactions on Communications.  
- IEEE Communications Letters.  
- IEEE Journal on Selected Areas in Communications.  
- IEEE/ACM Transactions on Networking.  
- IEEE Transactions on Wireless Communications.  
- ComSoc E-News.  
- Global Communications Newsletter.  
- Surveys & Tutorials.

■ IEEE Computer Society, <<http://www.computer.org/>>:

- IEEE Transaction on Mobile Computing.

■ IEICE Society, <<http://www.ieice.org/>>:

- IEICE Trans. on Communications.

### Conferencias y congresos

■ Conferencias y congresos de la IEEE Communications Society: <<http://www.comsoc.org/confs/index.html>>.

■ European Wireless Conference (Barcelona, Cataluña, España, 2004): <<http://research.ac.upc.es/EW2004/>>.

■ International Teletraffic Congress: <<http://www.i-teletraffic.org/>>.

■ Virginia Tech/MPRG Symposium on Wireless Personal Communications (Blacksburg, Virginia, EE.UU.): <<http://www.mprg.org/>>.

■ Wireless (Calgary, Alberta, Canadá): <<http://www.trilabs.ca/wireless>>.