



# S & T

# SISTEMAS & TELEMÁTICA

Revista de la Facultad de Ingeniería

---

**Evolución de los sistemas móviles celulares GSM** 13  
Álvaro Pachón de la Cruz.

---

**Sistema de Evaluación de Proficiencias  
en Educación Superior -SERES-**

Ricardo Llamosa Villalba

**Investigadores asociados:** Adriana Llamosa Ardila,  
Sandro Castellanos, Andrés Guerrero, Liliana Paola Pinilla,  
Lilia Castellanos, Juddy Alexandra Gómez, Víctor Sánchez,  
María Isabel Benítez, Gerardo Latorre

47

---

**Sistemas MIMO como Alternativa para el Control del Efecto  
Multitrayectoria y de la Interferencia Co-Canal en Sistemas  
de Radio Móvil Satelital y Terrestre**

Alexis Paolo García Ariza

57

---

**Herramienta gráfica de modelado de redes inalámbricas  
basada en modelos de propagación de señales en interiores**

Sandra Paulina López

Juan David Osorio Betancur

Andrés Navarro Cadavid

95

---

**Servicios WEB: Distribución e integración**

Liliana M. Arboleda C.

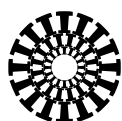
107

---

**El debate sobre el determinismo tecnológico:  
de impacto a influencia mutua**

Luis Alfonso Chávarro

121



UNIVERSIDAD  
**ICESI**







**INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA TELEMÁTICA****UNIVERSIDAD ICESI****COMITÉ EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD****Francisco Piedrahíta Plata**

Rector

**José Hernando Bahamón**

Director Académico

**Héctor Ochoa Díaz**Decano de la Facultad de Ciencias  
Administrativas y Económicas**Henry Arango Dueñas**

Decano de la Facultad de Ingenierías

**Lelio Fernández Druetta**

Decano de Derecho y Humanidades

**Mario Tamayo y Tamayo**Director de Investigaciones  
y Publicaciones**COMITÉ EDITORIAL DE LA REVISTA****Guillermo Londoño Acosta**Director del Programa  
de Ingeniería de Sistemas**Juan Manuel Madrid Molina**Director del Programa  
de Ingeniería Telemática**Alvaro Pachón de la Cruz**Jefe del Departamento de Redes  
y Comunicaciones**Narcís Cardona**Profesor de la Universidad Politécnica  
de Valencia, España**Andrés Navarro Cadavid**

Profesor de la Universidad Icesi

**Joaquín Restrepo**Profesor de la Pontificia Universidad  
Bolivariana de Medellín**Gonzalo Ulloa**Director de la Especialización  
de Negocios en Internet**Edwin Montoya**

Profesor de la Universidad EAFIT, Medellín

**Luis Eduardo Múnera**

Profesor de la Universidad Icesi

**David Fernández McCaan**

Profesor de la Universidad de Antioquia, Medellín

**Andrés Navarro Newball**Profesor de la Pontificia  
Universidad Javeriana, Cali**Homero Ortega**Profesor de la Universidad Industrial  
de Santander, Bucaramanga**OFICINA DE INVESTIGACIONES Y PUBLICACIONES****UNIVERSIDAD ICESI****EDITOR**

- Los autores de los artículos de esta publicación son responsables de los mismos.
- El material de esta publicación puede ser reproducido sin autorización, mencionando título, autor y, como fuente, S & T. Revista de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, Universidad Icesi.

[Http://www.icesi.edu.co](http://www.icesi.edu.co)

Informes: Tel.: 555 2334. Ext. 377

Fax: 555 1706 - 555 1745

Editor. e-mail: [lemunera@icesi.edu.co](mailto:lemunera@icesi.edu.co)Canje: e-mail: [matayta@icesi.edu.co](mailto:matayta@icesi.edu.co)**Cali, Valle, Colombia, Sudamérica**



## GUÍA PARA LOS AUTORES DE ARTÍCULOS

Para los autores de los artículos de la Revista «S & T Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática» de la Universidad Icesi.

- El autor debe garantizar que su artículo no ha sido publicado en ningún medio.
- Los autores de artículos serán responsables de los mismos, y por tanto no comprometen ni los principios o políticas de la Universidad, ni los del Comité Editorial.
- El Comité Editorial se reserva el derecho de publicar o no los artículos que no cumplan con los criterios de publicación por parte de la Universidad Icesi.
- La temática de los artículos debe ser de las diferentes áreas de Ingeniería de Sistemas, Informática y Telemática, resultado de investigación propiamente dicha, aplicaciones reales, productos de investigación formativa, procesos sistémicos de análisis de problemas y propuestas de solución.
- Los artículos deben contener:
  - Título (claro y preciso)
  - Breve reseña del autor.

- Abstract o resumen ejecutivo del artículo (máximo doce renglones a doble espacio).
- Palabras claves.
- Clasificación Colciencias\*.
- Introducción.
- Desarrollo.
- Referencias y notas de pie de página.
- Conclusiones.
- Bibliografía o fuentes de información.
- Extensión: No exceder de 25 páginas en total.
- Tipo de letra: Arial (o equivalente) fuente No. 12 y con interlineado a doble espacio.
- Una copia impresa y su respectivo disquete en Word Win o compatible IBM. No enviar Macintosh.

Es conveniente resaltar los párrafos u oraciones más significativos del contenido del artículo y todo aquello que dé significado a la estructura del mismo.


Los artículos se deben redactar en tercera persona del singular, impersonal, contar con adecuada puntuación y redacción, carecer de errores ortográficos. Conservar equilibrio en la estructura de sus párrafos.

---

\* Clasificación Colciencias para artículos científicos y tecnológicos:

a) Artículos de investigación científica y de desarrollo tecnológico: documentos que presentan resultados derivados de proyectos de investigación científica y/o desarrollo tecnológico.

b) Artículos de reflexiones originales sobre un problema o tópico particular: documentos que corresponden a resultados de estudios realizados por el o los autores sobre un problema teórico o práctico.

c) Artículos de revisión: estudios hechos por el o los autores con el fin de dar una perspectiva general del estado de un dominio específico de la ciencia y la tecnología, de sus evoluciones durante un período y donde se señalan las perspectivas de su desarrollo y evolución futuros. 



## GUÍA PARA LAS RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

- Tipo de libro reseñado: Debe ser de tipo ejecutivo, no un texto académico.
- Título del libro: Tomado de la carátula.
- Autor del libro: Apellidos, Nombre (persona del autor, lo relevante).
- Nombre del traductor (si lo tuviere).
- ISBN
- Editorial, ciudad y fecha.
- Tamaño: 16.5 cm x 23.5 cm. Número de páginas.
- Fortalezas (puntos del porqué el ejecutivo debe leerlo, cómo está estructurado el libro: partes, capítulos) etc.
- Debilidades (puntos no tan atractivos del libro).
- Extensión entre 700 a 800 palabras (equivalente a página y media, a doble espacio).
- Lenguaje ejecutivo (breve, no académico, darle ayuda / consejo práctico para hoy, con ejemplos del texto).



La Revista S & T Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Telemática, está dirigida a ingenieros de sistemas, ingenieros electrónicos, ingenieros telemáticos y afines; profesores universitarios y estudiantes en las diferentes áreas de la ingeniería; profesionales especializados en estas áreas.

Usted puede acceder a ella entrando en nuestra página Web en internet y bajar en formato PDF el artículo de su interés o la totalidad del número que desee, sólo debe entrar a la dirección: <http://www.icesi.edu.co/es/publicaciones> y seleccionar la edición correspondiente. Cualquier duda o comentario dirigirlo a la cuenta de correo [lemunera@icesi.edu.co](mailto:lemunera@icesi.edu.co); [matayta@icesi.edu.co](mailto:matayta@icesi.edu.co)

EL EDITOR



# Evolución de los sistemas móviles celulares GSM

Álvaro Pachón de la Cruz.

Departamento Redes y Comunicaciones

Universidad Icesi-I2T.

e-mail: apachon@icesi.edu.co

Fecha de recepción: 26-07-2004

Fecha de aceptación: 29-10-2004

## ABSTRACT

This paper presents the cellular systems architecture evolution. It identifies the structural components included in every stage of this evolution, describing their main functions and the additions and/or modifications that they make over the cellular system network architecture.

## KEYWORDS

Cellular Systems, Wireless Communications.

## RESUMEN

En el artículo se presenta la evolución de las arquitecturas de los sistemas móviles celulares, se identifican los componentes estructurales en cada una de las etapas, se describe su funcionalidad y se muestran las adiciones y/o modificaciones que sobre la arquitectura de la red tienen cada uno de los pasos que han marcado su evolución.

## PALABRAS CLAVES

Sistemas móviles celulares, comunicaciones inalámbricas

**Clasificación: B.**

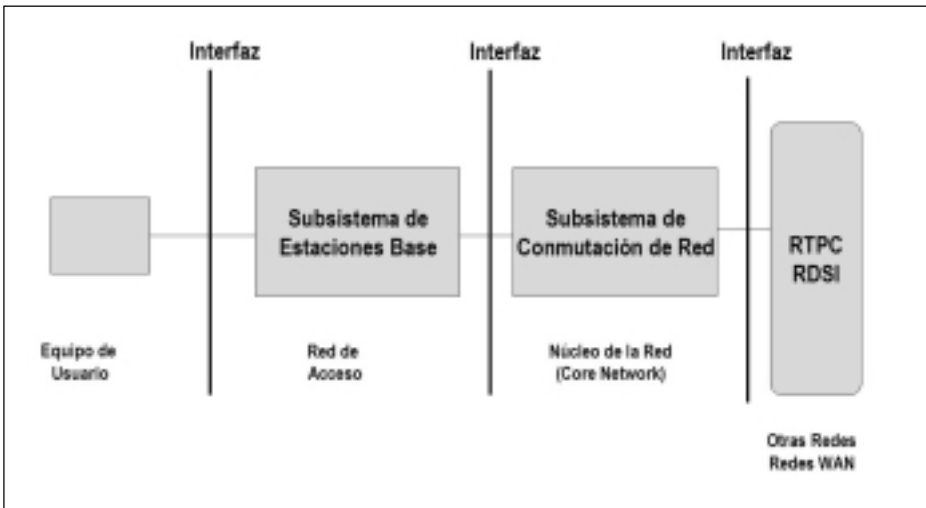
## INTRODUCCIÓN

En este artículo vamos a efectuar un análisis comparativo entre las diferentes arquitecturas de los sistemas móviles celulares GSM. Para hacerlo, es importante contar con un marco de referencia común desde el cual estas arquitecturas puedan ser explicadas y desde donde su proceso evolutivo pueda ser entendido (Ver Figura 1).

Vamos a considerar que la arquitectura de estos sistemas se encuentra compuesta por cuatro bloques básicos: El equipo de usuario, desde donde éste se conecta a la red y a través del cual recibe sus servicios; la red

de acceso, constituida por el subsistema de estaciones base, permite la movilidad del usuario dentro del área de cobertura de la red; el núcleo de la red, constituido por el subsistema de conmutación, responsable por el establecimiento de la trayectoria a través de la cual el intercambio de información tiene lugar; y finalmente, el bloque de las otras redes, redes de cobertura amplia (WAN), con las cuales la red celular se interconecta (RDSI, RTPC, etc.).

En cada una de las fronteras, de cada uno de estos bloques funcionales, debe existir una interfaz que haga posible el intercambio de información.



**Figura 1.** Marco de referencia para el análisis

Es bien sabido que los servicios móviles han evolucionado en generaciones, en cada una de ellas resulta plenamente reconocible un conjunto de características que las definen. La primera

generación fue la de los servicios analógicos, la segunda, la de los servicios digitales, y la tercera, la de los servicios multimedia. En la Tabla 1 se establece una comparación entre ellas.

**Tabla 1.** Comparación entre diferentes generaciones de servicios móviles.

<b>Criterio</b>	<b>Primera Generación</b>	<b>Segunda Generación</b>	<b>Tercera Generación</b>
Servicios	Voz	Voz y Mensajería Corta	Voz y Datos
Calidad de Servicio (QoS)	Baja	Alta	Alta
Nivel estandarización	Bajo	Fuerte	Fuerte
Velocidad de Transmisión	Baja	Baja	Alta
Tipo de Conmutación	Circuitos	Circuitos	Paquetes (IP)

Cada una de las arquitecturas que analizaremos representa a una de estas generaciones: GSM, es una tecnología de segunda generación; GPRS, es una tecnología de generación 2.5, es decir, representa un estado de transición entre la segunda y tercera generación; UMTS, por el contrario, es una tecnología de tercera generación.

Para cada una de las arquitecturas se seguirá el siguiente esquema de presentación: Se identificarán las entidades funcionales, las interfaces entre ellas, los protocolos que operan en estas interfaces, se efectuará una descripción de la interfaz de aire (la interfaz que se encuentra entre el móvil y el subsistema de estaciones base) y los servicios que se ofrecen. Finalmente se presentan los análisis comparativos correspondientes.

## 2. GSM

En los comienzos de los años ochenta, muchos países en Europa habían desarrollado su propio sistema de telefonía celular análoga que impedía la interoperabilidad más allá de las fronteras de cada país. En 1982, el CEPT (*Conference of European Post and Telecommunications*) estableció un grupo de trabajo para desarrollar

un sistema paneuropeo al que se denominó *GSM-Groupe Speciale Mobile*. El grupo propuso desarrollar un nuevo sistema inalámbrico móvil con las siguientes premisas: itinerancia (roaming) internacional, soporte para la introducción de nuevos servicios, eficiencia espectral y compatibilidad con la RDSI. En 1989, la responsabilidad por el desarrollo de GSM fue transferida al ETSI-*European Telecommunications Standards Institute* que denominó al proyecto como *Global System for Mobile Communications*. La evolución de GSM ha estado marcada por tres fases de evolución, la fase 1, en la que se produjeron sus especificaciones; la fase 2, en la que se propuso la inclusión de servicios de datos y de fax; y finalmente, la Fase 2+, en la que se realizan mejoras sobre la codificación de voz y se implementan servicios de transmisión de datos avanzados, entre ellos GPRS y EDGE.

GSM es un sistema de conmutación de circuitos, diseñado originalmente para voz, al que posteriormente se le adicionaron algunos servicios de datos: servicio de mensajes cortos, un servicio de entrega de mensajes de texto de hasta 160 caracteres y un servicio de datos GSM, que permite una tasa de transferencia de 9.6 kbps.

## 2.1. Arquitectura de la Red GSM

Una red GSM se encuentra formada por los siguientes componentes que integran la red pública móvil terrestre (*PLMN-Public Land Mobile Network*):

- La estación móvil (*MS: Mobile Station*). Es el punto de entrada a la red móvil inalámbrica. Es el equipo físico usado por el usuario GSM para acceder a los servicios proporcionados por la red.
  - El módulo de identidad del abonado (*SIM: Subscriber Identity Module*). GSM distingue entre la identidad del abonado y la del equipo móvil. El SIM está asociado con el abonado, se trata de un chip que el usuario debe introducir en el terminal GSM.
  - La estación transmisora-receptora de base o estación transceptora de base (*BTS-Base Transceiver Station*). Se encarga de proporcionar, vía radio, la conectividad entre la red y las estaciones móviles.
  - El controlador de estaciones base (*BSC-Base Station Controller*). Se encarga de todas las funciones centrales y de control del subsistema de estaciones base (*BSS: Base Station Subsystem*) que está constituido por el BSC y las BTSs.
  - La unidad de Transcodificación (*TRAU-Transcoding Rate and Adaptation Unit*). Se encarga de comprimir la información en el interfaz aéreo cuando se hace necesario. La TRAU forma parte del subsistema BSS. Permite que tasas de datos GSM (8,16,32 Kbps) puedan ser enviadas hacia la interfaz RDSI del MSC que sólo acepta tasas de 64 Kbps.
- El centro de conmutación de servicios móviles o centro de conmutación de móviles (*MSC-Mobile Services Switching Center*). Se encarga de enrutar el tráfico de llamadas entrantes y salientes, y de la asignación de canales de usuario en la interfaz entre el MSC y las BSC.
  - El registro general de abonados (*HLR-Home Location Register*). Es una base de datos que contiene y administra la información de los abonados, mantiene y actualiza la posición del móvil y la información de su perfil de servicio.
  - El registro de abonados itinerantes (*VLR-Visitor Location Register*). Diseñado para NO sobrecargar el HLR. Guarda localmente la misma información que el HLR, cuando el abonado se encuentra en modo de itinerancia (roaming).
  - El centro de autenticación (*AuC-Authentication Center*). Genera y almacena información relativa a la seguridad, genera las claves usadas para autenticación y encriptación.
  - Registro de Identidad de Equipos (*EIR: Equipment Identity Register*). Los terminales móviles tienen un identificador único, el IMEI (*International Mobile Equipment Identity*), el EIR se utiliza para mantener una relación de las identidades de los equipos abonados; a través de él resulta posible identificar aquellos usuarios autorizados.

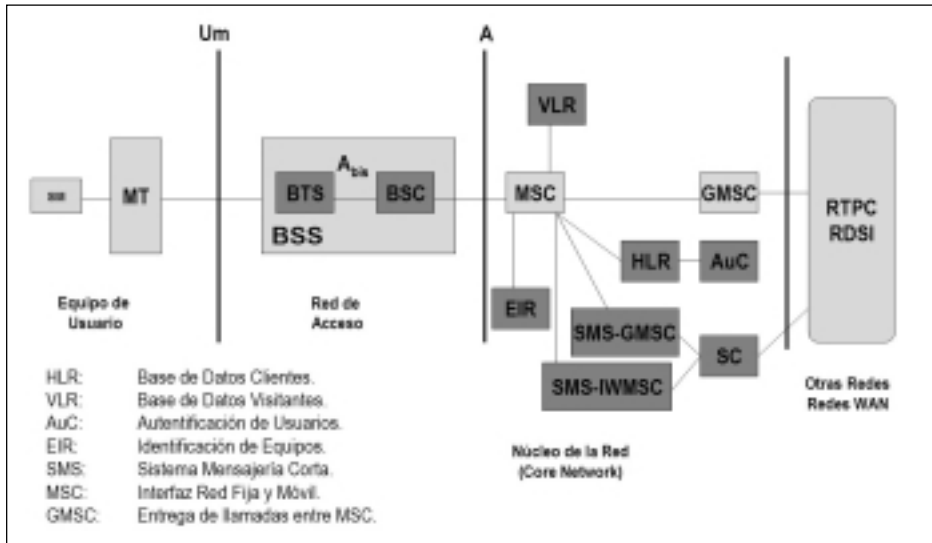


- El GMSC: *Gateway Mobile Switching Center*. Es el punto hacia el cual es encaminada una terminación de llamada cuando no se tiene conocimiento de la ubicación de la estación móvil. Este componente tiene la responsabilidad por el encaminamiento de la llamada al MSC correcto.
- SMS-G. Este término es usado para describir colectivamente a dos Gateways que soportan el servicio de mensajería corta (*Short Message Services Gateways*) descritos en las recomendaciones GSM. El SMS-GMSC (*Short Message Service Gateway Mobile Switching Service*) encargado de la terminación de los mensajes cortos y el IWMSC (*Short Messa-*

*ge Service Inter-Working Mobile Switching Center*) encargado de originar los mensajes cortos.

- Las conexiones originadas o dirigidas hacia otras redes son manejadas por un gateway dedicado, el GMSC (*Gateway Mobile Switching Center*).

En la Figura 2 se muestra la arquitectura del sistema GSM. Sus componentes pueden ser agrupados en tres subsistemas: El subsistema de estaciones base (*BSS: Base Station Subsystem*), el subsistema de conmutación y gestión (*SMSS: Switching and Management Subsystem*) y el subsistema de operación y mantenimiento (*OMSS: Operation and Maintenance Subsystem*).



**Figura 2.** Arquitectura del Sistema GSM.

## 2.2. Interfaces y protocolos

Entre cada par de elementos de la arquitectura GSM existe una interfaz independiente. Cada interfaz requiere de su propio conjunto de protoco-

los. En la Tabla 2 se describen las principales interfaces, los tipos de información y los protocolos de la arquitectura GSM.

**Tabla 2.** Interfaces GSM

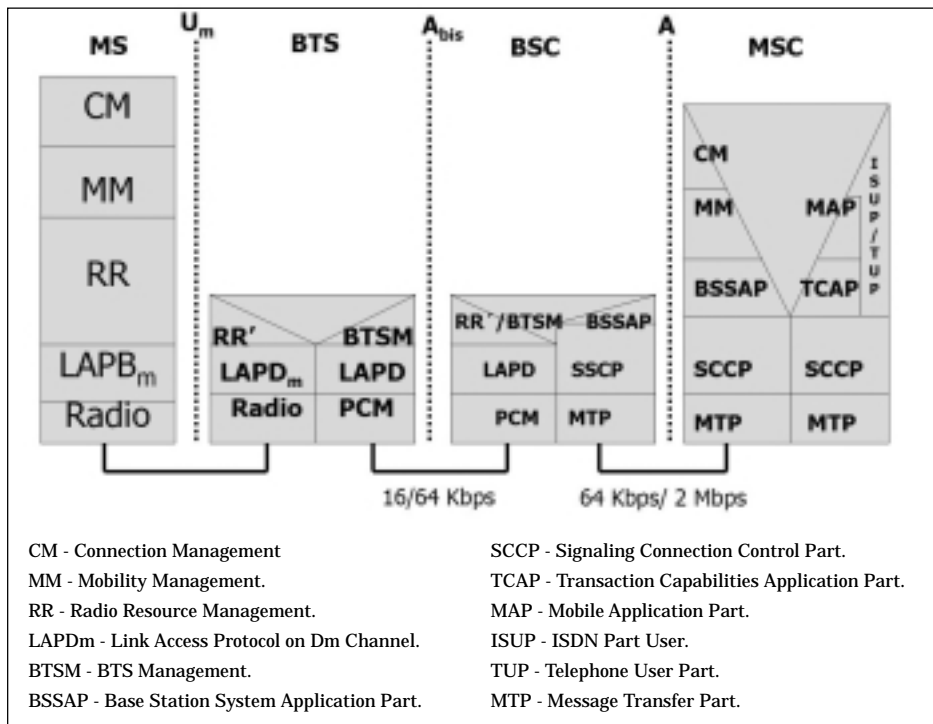
Interfaz	Situada entre	Descripción	Intercambio de información	
			Tráfico Usuario	Protocolo Señalización
A	MSC-BSC	Permite el intercambio de información sobre la gestión del subsistema BSS, de las llamadas y de la movilidad. A través de ella, se negocian los circuitos que serán utilizados entre el BSS y el MSC.	SI (1)	SS7
Abis	BSC-BTS	Permite el control del equipo de radio.	SI	LAPD
B	VLR-MSC asociados	VLR es la base de datos que contiene toda la información que permite ofrecer el servicio a los clientes que se encuentran en el área de influencia de sus MSC asociados. Por lo tanto, cuando un MSC necesite proporcionar información sobre un móvil acudirá a su VLR. Esta interfaz NO debe ser externa (por desempeño, por el volumen de información intercambiado).	NO	MAP/B (2)
C	HLR-GMSC	Es la interfaz utilizada por los gateways GMSC para enrutar la llamada hacia el MSC destino. La GMSC no necesita contar con un VLR, se trata de un nodo que sólo transmite llamadas.	NO	MAP/C
D	HLR-HLR	Permite intercambiar información entre ambas bases de datos, esta información se encuentra relacionada con la posición del móvil y la gestión del servicio contratado por el usuario.	NO	MAP/D
E	MSC-MSC	Permite intercambiar la información necesaria para iniciar y realizar un intercambio Inter-MSC cuando el móvil cambia de área de influencia de un MSC a otro.	SI 64 Kbps	MAP/E, RDSI, ISUP (3)
F	MSC-EIR	Utilizada cuando el MSC desea comprobar el IMEI de un equipo.	NO	
G	VLR-VLR	Utilizada para permitir la interconexión entre dos VLRs de diferentes MSCs	NO	MAP/G
H	MSC-SMS-G		SI	MAP/H
I	MSC-MS	Permite el intercambio transparente de datos entre el MSC y el MS a través del BSS		
Um	BSS-MS	Es la interfaz de radio, se encuentra entre la estación móvil y el BSS.	Voz: 13 Kbps Datos: 9.6 Kbps	LAPDm

En la Figura 3 se muestran los protocolos de señalización entre la estación móvil (MS) y la estación base (BTS), entre la estación base (BTS) y la controladora de estaciones base (BSC) y entre la controladora de estaciones base (BSC) y el centro de conmutación de móviles (MSC).

En el gráfico aparecen tres niveles: CM, MM y RR. El nivel CM-*Communications Management* es responsable por la gestión de las llamadas a solicitudes de los usuarios. El nivel MM-*Mobility Management* es responsable por el mantenimiento de la información de localización del usuario. El nivel RR-*Radio Resource* es responsable por el establecimiento y mantenimiento del enlace entre el MS y el MSC, que corresponden con

el nivel 3 del modelo de referencia OSI. El nivel RR' corresponde con aquella parte de la funcionalidad del nivel RR que es administrada por el BTS. Los protocolos LAPD y LAPm corresponden con el nivel dos del Modelo OSI. El protocolo BTSM (*Base Transceiver Station Management*) es responsable por la transferencia de información de nivel RR al BSC. Los protocolos SCCP (*Signalling Connection Control Part*) y MTP (*Message Connection Control*) hacen parte del sistema de señalización 7 (SS7).

1. La BSC se comunica con el GMSC a través de la unidad de transcodificación (TRAU) que se encarga de efectuar el traslado entre una tasa de 16 Kbps, que recibe del lado de la BTS, a una tasa de 64



**Figura 3.** Protocolos sobre las interfaces A, Abis y Um

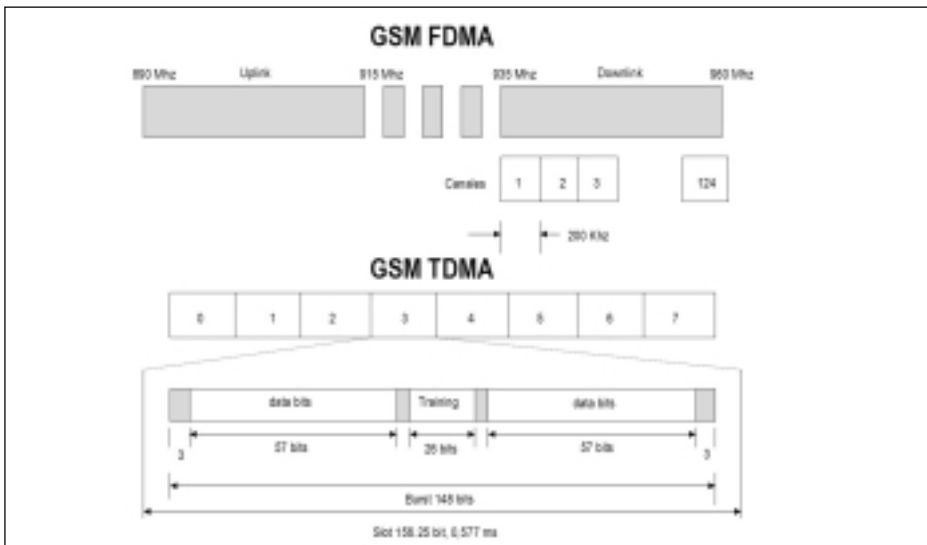
Kbps, que debe entregar del lado del GMSC.

2. A través de algunas interfaces se transfiere únicamente información de señalización, para hacerlo, se utiliza el protocolo *Mobile Application Part-MAP* del protocolo SS7.
3. El GMSC establece una llamada de tráfico (64 Kbps) en la RTPC a través del protocolo *ISDN User Part-ISUP* que es un protocolo SS7.

### 2.3. Acceso al medio

GSM utiliza una combinación de TDMA (*Time Division Multiple Access*) y FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Dos bandas de frecuencias, de 25 Mhz cada una, han sido asignadas a GSM-900, estas bandas son usadas en modo FDD (*Frequency Division Duplex*). El enlace de subida (uplink, entre el móvil y la estación base), se implementa entre 890 y 915 Mhz. El enlace de bajada (do-

wmlink, entre la estación base y el móvil), se implementa entre los 935 y los 960 Mhz. Cada banda se encuentra dividida en canales portadores de 200 Khz de tamaño. En GSM, el enfoque de TDMA es aplicado a los canales de subida y de bajada, cada canal es dividido en ocho ranuras (slots) en cada una de las cuales se transmite una unidad de información. Este proceso se muestra en la Figura 4. El esquema de modulación usado en una ranura es *GMSK-Gaussian Minimum Shift Keying*, con él, se pueden alcanzar tasas de bits de 270 Kbps aproximadamente. Los datos en una ranura son denominados ráfagas (burst) y alcanzan los 148 bits de longitud, los 8.25 bits restantes son utilizados como guardas en el tiempo. El número de bits que constituyen la cabecera y la cola son constantes. Si un usuario es propietario de una ranura puede alcanzar una tasa máxima de 24.7 Kbps (sin ningún esquema de corrección de errores). Todo esto se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** FDMA y TDMA en GSM

## 2.4. Canales físicos y lógicos

GSM distingue entre canales físicos (las ranuras de tiempo) y canales lógicos (la información portada por los canales físicos). Algunas ranuras de tiempo en una portadora constituyen un canal físico el cual es usado por diferentes canales lógicos para transferir información, tanto de señalización como del usuario. Existen dos tipos de canales lógicos en GSM: Los canales de tráfico (*TCH-Traffic Channels*), que transportan información (voz o datos) del usuario y los canales de control (*CCH-Control Channels*), que transportan señalización y sincronización entre la estación base y la estación móvil. Sus funciones y formas varían según el enlace. En la Tabla 3 se presentan detalles de cada uno de estos canales.

## 3. GSM/GPRS

GPRS significa *General Packet Radio System*, es una tecnología que provee acceso de radio paquetes sobre la red GSM existente, en este sentido, constituye una extensión de conmutación de paquetes sobre dicha red. Fue introducida para proporcionar un acceso más eficiente de las redes celulares sobre las redes públicas de datos en comparación con aquellos proporcionados por los servicios tradicionales, basados en conmutación de circuitos, que eran ofrecidos por la tecnología GSM tradicional. Esta tecnología permite acomodar, de una forma más eficiente, fuentes de datos que tienen, por lo general, una naturaleza a ráfagas.

Entre sus premisas de diseño vale la pena mencionar las siguientes: Se diseñó como una arquitectura abierta sobre la cual pudieran ser ofreci-

dos servicios IP, la misma infraestructura debería soportar diferentes interfaces de aire, debería permitir la integración de la infraestructura de telefonía y la infraestructura de Internet. Entre los beneficios derivados de su implantación se mencionan: la transmisión de información sobre la red GSM existente para proveer un servicio de datos de alta velocidad que permanezca «siempre activo» (*always on*), reduciendo de esta forma el tiempo empleado en la configuración y liberación de las conexiones.

### 3.1. Arquitectura de la red GSM/GPRS

GPRS es una red de datos que utiliza la infraestructura de la red GSM para permitir la transmisión de paquetes de datos a tasas que fluctúan entre los 9.6 y los 171 Kbps. Aunque se intenta reutilizar la red GSM existente tanto como sea posible, resulta necesario adicionar algunos nuevos elementos de red, interfaces y protocolos, para manejar este nuevo tipo de tráfico y construir de esta manera una red móvil celular de paquetes. La arquitectura de la red GSM/GPRS se muestra en la Figura 5.

#### 3.1.1. Terminales GPRS del suscriptor

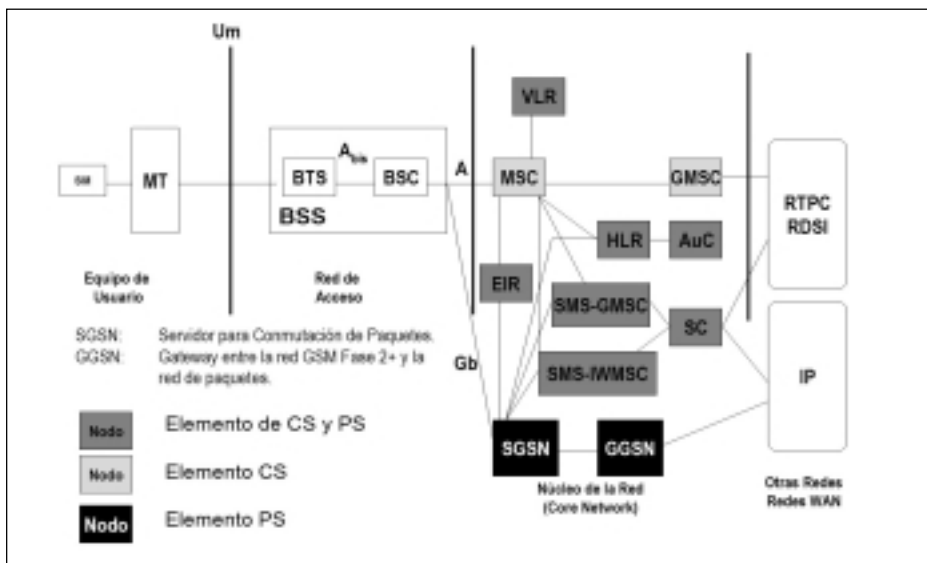
Nuevas terminales son requeridas, los teléfonos GSM existentes no manejan la interfaz de aire extendida, ni los paquetes de datos. Estas terminales deben ser compatibles con la red GSM para poder efectuar llamadas de voz.

#### 3.1.2. Subsistema de estaciones base GPRS

Se necesitan dos nuevas unidades para el servicio GPRS con funciones específicas para soportar los servicios de paquetes de datos: La unidad de control del protocolo (*PCU:Protocol*

**Tabla 3.** Canales lógicos en GSM

Tipo de canal	Denominación		Descripción
Canales de Tráfico (Traffic Channel-TCH)	TCH/FS		S: Voz (Speech) 9.6: Datos a 9600 bps.
	TCH/F9.6		4.8: Datos a 4800 bps 2.4: Datos a 2400 bps.
	TCH/F4.8		F: Full Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, en cada trama.
	TCH/F2.4		H: Half Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, trama de por medio. Dos usuarios comparten una misma ranura en diferentes instantes de tiempo.
	TCH/HS		
	TCH/H4.8		
	TCH/H.24		
Canales de Control (Control Channel-CCH)	Canales de Broadcast (Broadcast Channels) -BCH-	BCCH	Canales de control utilizados para permitir el enganche de los móviles y el monitoreo de las potencias de los móviles en celdas vecinas (MAHO).
		FCCH	
		SCH	
	Canales Comunes de Control (Common Control Channels) -CCCH-	PCH	Estos canales permiten el establecimiento de las llamadas y la asignación de canales de control.
		RACH	
		AGCH	
Canales de Control Dedicados (Dedicated Control Channels) -DCCH-	SDCCH	Canales de control bidireccionales utilizados para prestar los servicios de señalización y supervisión al usuario.	
	SACCH		
	FACCH		



**Figura 5.** Arquitectura de la Red GSM/GPRS

*Control Unit*) y la unidad de control de Canal (*CCU:Channel Control Unit*). La unidad de control del protocolo es responsable por la segmentación LLC, la manipulación del acceso al canal, el reparto de los canales, el tratamiento de las retransmisiones y por la administración de los canales de radio. La unidad de control de canal es responsable por la codificación del canal, la corrección de errores FEC, el intercalado y las medidas de radio. GPRS no establece la forma como se reparten las responsabilidades el BSC y el BTS; este aspecto es, por lo tanto, específico de la implementación. Una nueva interfaz, Gb, conecta los BSC y los SGSN, es necesario entonces un nuevo protocolo, BSSGP. El impacto derivado de la implementación de GPRS sobre el BSS supone la actualización de la interfaz de radio entre la BTS y el móvil. Cada BSC requiere de la instalación de una o más PCUs y de la actualización en software. La BTS también requiere de una actualiza-

ción en software, sin embargo, típicamente no requiere de ninguna expansión hardware. Cuando el tráfico de voz o de datos es originado en el terminal del suscriptor, es transportado sobre la interfaz de aire al BTS, y desde allí hasta la BSC, de la misma forma que una llamada GSM estándar lo hace. Sin embargo, el tráfico es separado a la salida del BSC, el tráfico de voz es enviado al MSC usando GSM estándar y los datos son enviados a un nuevo dispositivo llamado SGSN a través de la PCU con una interfaz Frame Relay.

### 3.1.3. Nodos de soporte GPRS

La estructura convencional de GSM ha sido extendida con una nueva clase de nodos de red que permiten crear un modo de transferencia de conmutación de paquetes de extremo a extremo, los GSN (*GPRS Support Node*) tienen la responsabilidad por la entrega y por el enrutamiento de los paquetes de datos entre el móvil y las redes de datos públicas externas.

El SGSN, por *Servicing GSN*, es responsable por la transferencia de paquetes desde/hacia los móviles en su área de servicio, esta tarea incluye: el enrutamiento de los paquetes, su transferencia, la gestión de la movilidad y del enlace lógico y las funciones de autenticación y facturación. Al igual que en el GSM convencional, toda la información del usuario que se debe conocer en el nodo SGSN, se almacena en el registro GR (*GPRS Register*) que conceptualmente hace parte del registro HLR. El GR almacena el perfil del usuario, la dirección actual de SGSN y las direcciones del protocolo PDP (*PDN Protocol*) para cada usuario GPRS en la PLMN. El SGSN es conectado al subsistema de estaciones base a través de una conexión Frame Relay a la PCU en la BSC.

El GGSN, por *Gateway GSN*, el otro tipo de nodo de soporte a GPRS, actúa como interfaz lógico entre la red troncal GPRS y las redes PDN externas. Convierte los paquetes GPRS provenientes del SGSN al formato PDP apropiado (IP o X.25 por ejemplo), en el otro sentido, las direcciones del PDP de los paquetes de datos entrantes son convertidas a direcciones GSM de los destinatarios y luego los paquetes son enviados al correspondiente SGSN. Para este propósito, la GGSN almacena la dirección del nodo SGSN del usuario y su perfil, consultándolo en los registros HLR/GR. Uno o más GGSNs pueden ser provistos para soportar múltiples SGSNs.

En la red núcleo de la arquitectura de la red GSM/GPRS se deben distinguir tres tipos de elementos: los que soportan exclusivamente a los servicios de

conmutación de circuitos (CS): El MSC y el GMSC; los que soportan exclusivamente a los servicios de conmutación de paquetes (PS): El SGSN y el GGSN; y los que son utilizados para soportar los dos tipos de servicios (PS y CS): El VLR, el HLR, el AuC, el EIR. Estos detalles se muestran gráficamente en la Figura 5.

#### 3.1.4. *Terminales GPRS*

El término equipo terminal (*TE-Terminal Equipment*) es usado para referirse a una amplia variedad de teléfonos móviles y de estaciones móviles usados en el ambiente GPRS. Existen tres tipos de terminales: Terminales clase A que soportan servicios GPRS y GSM de forma simultánea, terminales clase B, que pueden monitorear canales GSM y GPRS simultáneamente pero que pueden soportar únicamente uno de estos servicios a la vez, y terminales clase C que soportan únicamente un servicio.

#### 3.1.5. *Enrutamiento de datos*

Uno de los principales requerimientos en una red GPRS es el enrutamiento de paquetes hacia/desde un usuario móvil. Este requerimiento puede ser dividido en dos áreas: El enrutamiento de paquetes de datos y el manejo de la movilidad.

##### 3.1.5.1. *Enrutamiento de paquetes de datos*

Todos los GSNs se conectan a través de una red troncal (backbone network) GPRS basada en IP. Existen dos clases de redes troncales: *Intra-PLMN IP backbone network* e *Inter-PLMN backbone network*. Una red Intra-PLMN IP backbone network tiene la responsabilidad por proveer la conexión de GSNs que pertenecen

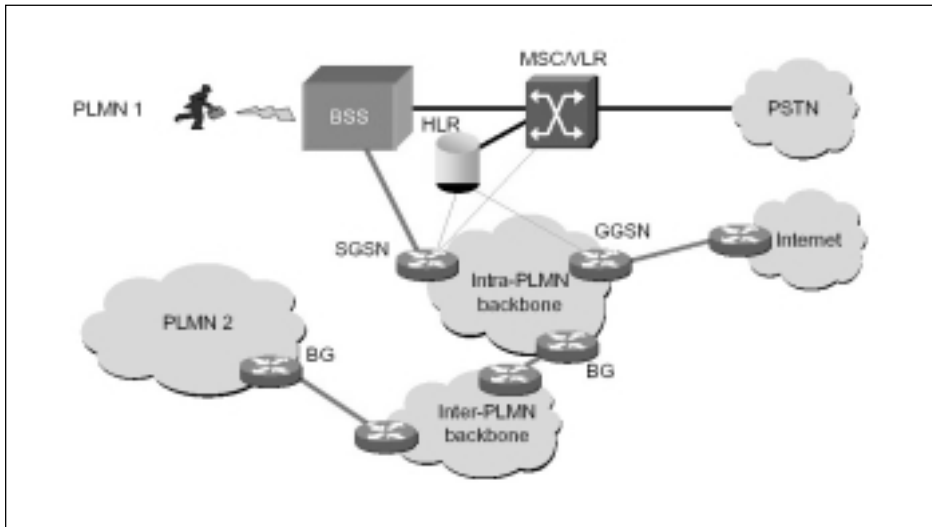


a la misma PLMN, son, por lo tanto, redes IP privadas del proveedor de red GPRS. Una red Inter-PLMN backbone network tiene la responsabilidad por conectar nodos SGSNs que pertenecen a diferentes PLMNs. Se necesita, por lo tanto, un acuerdo de itinerancia (roaming) entre los dos proveedores de red para instalar este tipo de red troncal, es necesario instalar pasarelas fronterizas BG (Border Gateways) entre cada PMNL para garantizar la itinerancia. La Figura 6 ilustra este aspecto.

### 3.1.5.2. Manejo de la movilidad

El área de servicio de un SGSN se encuentra distribuida de forma jerárquica, un SGSN puede atender varias áreas de localización (*LA-Location Area*), que pueden a su vez estar constituidas por una o varias áreas de enrutamiento (*RA-Router Area*) que se encuentran compuestas de una o varias celdas. La operación de GPRS es parcialmente independiente de la

red GSM. Sin embargo, algunos procedimientos comparten elementos de red con las funciones GSM para incrementar la eficiencia y hacer un uso óptimo de los recursos GSM libres. Una estación móvil tiene tres estados en el sistema GPRS: activo, en espera (standby) y libre (idle), este modelo de tres estados es único en la red de paquetes, GSM utiliza un esquema de dos estados: Activo y libre. En el estado activo los datos son transmitidos entre la estación móvil y la red GPRS, en este estado el SGSN conoce la localización de la celda en la cual se encuentra la MS. En el estado de espera, el SGSN conoce únicamente el área de enrutamiento. En el estado libre, la MS no tiene el contexto GPRS activado y ninguna red pública de conmutación de paquetes ha sido asignada. Cuando una estación móvil que se encuentra en el estado de activo o de espera se mueve desde un área de enrutamiento



**Figura 6.** Enrutamiento de paquetes Intra e Inter PLMN en la red GSM/GPRS

to a otra dentro del área de servicio de un SGSN, debe efectuar una actualización de enrutamiento. La información del área de enrutamiento en el SGSN es actualizada.

### 3.1.6. Interfaces y Protocolos GSM/GPRS

En la Tabla 4 se describen las interfaces propias de GPRS.

La Figura 7 ilustra la pila de protocolos GPRS y el flujo de extremo-a-extremo de un mensaje desde el MS hasta el GGSN.

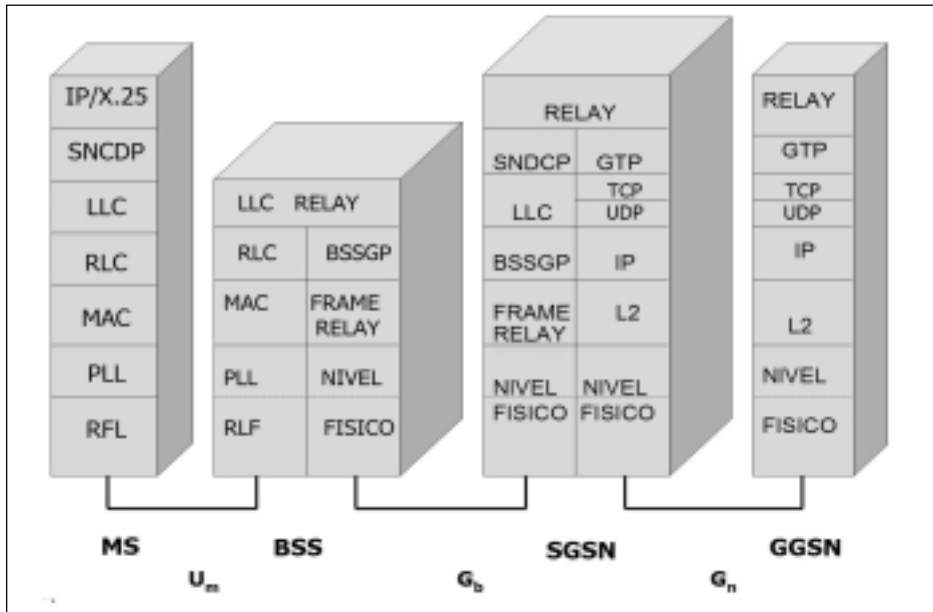
El protocolo entre el SGSN y el GGSN a través de la interfaz Gn es GTP. GTP por GPRS *Tunneling Protocol* es un protocolo de tunneling, de nivel 3, similar a L2TP. Aunque la figura anterior define la interfaz Gn (y la Gi, no mostrada) como IP, los protocolos subyacentes no son especificados para proveer flexibilidad con el medio físico empleado. La interfaz más comúnmente usada con GPRS es Fast Ethernet. Para la interfaz Gi, las in-

terfaces más comunes son la interfaz serial, la interfaz E1/T1 o la interfaz Ethernet. Las interfaces WAN físicas pueden correr un amplio rango de protocolos, tales como Frame Relay, HDLC y RDSI. Entre el SGSN y el móvil, el protocolo SNDCP (*SubNetwork Dependent Convergent Protocol*) traza las características de nivel de red en el nivel subyacente de control de enlace lógico proporcionando la multiplexación de múltiples mensajes de nivel de red en una única conexión de enlace lógico virtual, este protocolo es responsable por las funciones de segmentación, cifrado y compresión. Entre el BSS y el SGSN, el protocolo BSSGP (*BSS GPRS Protocol*) transporta información relacionada con el enrutamiento y la QoS y opera sobre Frame Relay.

El nivel de enlace de datos ha sido subdividido en dos subniveles: El LLC y el Control del enlace de radio y control de acceso al medio (*RLC/MAC-Radio Link Control/Medium Access*

**Tabla 4.** Interfaces GPRS

Interfaz	Situada entre
Ga	Nodos GSN (GGSN,SGSN) y el Charging Gateway (CG).
Gb	SGSN-BSS (PCU). Normalmente en Frame Relay.
Gc	GGSN-HLR.
Gi	GGSN y una red externa de datos (PDN).
Gn	GSN-GSN. Conexión Intra-PLMN network backbone.
Gp	GSN-GSN. Conexión Inter-PLMN network backbone.
Gr	SGSN-HLR.
Gs	SGSN-MSC/VLR.
Gf	SGSN-EIR.



**Figura 7.** Pila de Protocolos GPRS

*Control*). El subnivel LLC proporciona un enlace lógico altamente fiable entre el móvil y su SGSN asignado. Para permitir la introducción de soluciones de radio alternativas sin mayores cambios será tan independiente del protocolo RLC/MAC como sea posible. La funcionalidad del protocolo se fundamenta en LAPDm utilizada en el nivel de señalización GSM.

El subnivel RLC/MAC se encarga de proporcionar servicios de transferencia de información sobre la capa física de interfaz de radio GPRS, de definir los procedimientos de acceso múltiple sobre el medio de transmisión que consistirá en varios canales físicos, de la transmisión de bloques de datos a través del interfaz aéreo y es responsable por el protocolo de corrección de errores *BEC-Backward Error Correction* que consiste en la retransmisión selectiva de bloques con errores no corregibles ARQ.

La capa física, entre el móvil y la BTS, se divide en dos subcapas: la subcapa de enlace físico (*PL-Physical Link subLayer*) y la subcapa física de radiofrecuencia (*RFL-Physical RF SubLayer*). La subcapa de enlace físico (*PLL-Physical Link subLayer*) proporciona los servicios necesarios para permitir la transmisión de información sobre un canal físico entre el móvil y la BSS. Estas funciones incluyen el montaje de las unidades de datos, la codificación de los datos y la detección y corrección de errores. La capa física de radiofrecuencia (*RFL-Physical RF SubLayer*) cumple con la recomendación 05 de GSM y se encarga de realizar la modulación y la demodulación de las ondas físicas.

### 3.1.7. Procesos GPRS

En la Tabla 5 se describen los procesos básicos en las redes GPRS.

**Tabla 5.** Procesos básicos GPRS

Proceso	Descripción
Vinculación (attach)	Proceso por el cual la estación móvil se conecta a un SGSN en una red GPRS.
Autenticación	Proceso por el cual el SGSN autentifica el suscriptor móvil.
Activación PDP	Proceso por el cual se establece una sesión de usuario entre la estación móvil y la red destino.
Desvinculación (detach)	Proceso por el cual la estación móvil se desconecta del SGSN en una red GPRS
Solicitud PDP iniciada por la red para una dirección IP estática	Proceso por el cual una llamada desde una red de paquetes alcanza una estación móvil usando una dirección IP estática.
Solicitud PDP iniciada por la red para una dirección IP dinámica.	Proceso por el cual una llamada desde una red de paquetes alcanza una estación móvil usando una dirección IP dinámica.

### 3.2. Interfaz de radio GPRS

GPRS define una nueva interfaz basada en TDMA para proveer transmisión de paquetes sobre la interfaz de aire, estableciendo, de esta forma, nuevas maneras de usar los canales de radio GSM ya existentes. En GPRS se establecen procedimientos a través de los cuales múltiples usuarios pueden compartir simultáneamente los recursos de radio y las ranuras de tiempo. GPRS define una administración de recursos de radio completamente diferente a la de conmutación de circuitos que establecía GSM en donde se asignaban ranuras por tiempo indefinido. Por el contrario, GPRS asigna ranuras de tiempo al usuario sobre la base paquete a paquete. GPRS retiene el esquema de modulación, la anchura del canal y la estructura de la trama usados en GSM. En el mundo digital, el nivel

físico es el responsable por transportar los bits a través del radio canal usando algún esquema de modulación, en el caso de GPRS se utiliza GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), para soportar múltiples usuarios en un espectro limitado. GPRS utiliza TDMA para proveer acceso múltiple. Esta técnica se basa en la coordinación de números específicos de tramas y ranuras en un tiempo dado. Para transportar datos desde el móvil a la red, GPRS, al igual que GSM, diferencian la información de señalización de la del usuario a través de canales lógicos. Los canales de tráfico están divididos en dos categorías: De sesión de conmutación de circuitos, en la cual los usuarios son asignados a un canal durante la duración de la llamada; y de sesión de conmutación de paquetes, en la cual múltiples usuarios comparten un

canal particular en ciertas ranuras de tiempo y frecuencias en TDMA. Sin embargo, únicamente un usuario puede ser asignado a una ranura de tiempo particular y a una frecuencia en un instante dado. En la Tabla 6 se presentan los canales, físicos y lógi-

cos, propios de GPRS que se suman a los GSM existentes.

3.3. *Impacto derivado de la implantación de GPRS en la red GSM*  
Vamos a efectuar un resumen del impacto derivado de la implantación

**Tabla 6.** Canales GPRS

Canales Físicos GPRS	Canales de Paquetes de Datos (Packet Data CHannel) PDCH	Canales PDCH dedicados	Son asignados de forma exclusiva para el servicio GPRS.
		Canales PDCH bajo demanda	Son utilizados para GPRS si no son necesarios para GSM <sup>(*)</sup>
Canales Lógicos GPRS	Canales de control común	Packet Paging CHannel PPCH	Utilizado para localizar una estación móvil antes de la transferencia de paquetes.
		Packet Random Access CHannel-PRACH	Utilizado por la estación móvil para solicitar canales para GPRS.
		Packet Access Grant CHannel-PAGCH	Utilizados para comunicar a la estación móvil los canales de tráfico asignados.
	Canales de difusión	Packet Broadcast Control CHannel-PBCCH	Utilizado para difundir información de control general del sistema GPRS.
	Canales de tráfico	Packet Data Traffic CHannel-PDTCH	Usado para la transferencia de paquetes de datos.
	Canales dedicados de control	Packet Associated Control CHannel-PACCH	Constituye un canal de señalización asociado con un canal de tráfico PDTCH. Permite transferir el nivel de potencia e información del sistema.
		Packet Timing Control CHannel-PTCCH.	Utilizado para el envío de información relacionada con el avance del tiempo.

(\*) Los servicios de conmutación de circuitos tienen prioridad sobre los de conmutación de paquetes.

de GPRS en la red GSM. El interés primordial de un operador GSM se centra en que la introducción de GPRS pueda realizarse sin cambios notables en la red. Sin embargo, la introducción de GPRS provoca cambios funcionales y operativos significativos en la red, entre ellos: La aparición de nuevos nodos de red SGSN/GGSN, efectos sobre el subsistema de red y conmutación (*NSS:Network and Switching Subsystem*), efectos sobre el subsistema de estaciones base (*BSS:Base Station Subsystem*) y finalmente, tiene también efecto sobre la planificación de la red.

### 3.3.1. Incorporación de nuevos nodos de red SGSN/GGSN

Este aspecto ya fue descrito en otra sección del presente artículo. Ver Sección 3.1.3. Nodos de Soporte GPRS.

### 3.3.2. Efecto sobre el subsistema de red y conmutación (*NSS:Network and switching Subsystem*)

Es necesario incluir en el HR un nuevo registro, el *GR-GPRS Register* para almacenar la información de suscripción GPRS. Se añaden nuevas funciones MAP (*Mobile Application Part*) que soportan el intercambio de señales con los GSNs que provocan un incremento en la carga del HLR. Debido a que los SGSN necesitan sus propios parámetros de autenticación y cifrado, se incrementa la carga sobre el AuC. Se añaden tres nuevas interfaces: Gr, Gc y Gs. Los nodos SMS, se actualizan para soportar transmisión a través de SGSN, aparece una nueva interfaz Gd entre SMS-MSC y SGSN.

### 3.3.3. Efecto sobre el subsistema de estaciones base (*BSS: Base Station Subsystem*)

Este aspecto ya fue descrito en otra sección del presente artículo. Ver Sección 3.1.2. Subsistema de Estaciones Base GPRS.

### 3.3.4. Impacto en la planificación de la red

La implementación de GPRS requiere asignación de recursos, es necesario efectuar cambios en los algoritmos de distribución de recursos. La introducción de GPRS, sin asignar nuevo espectro reduce la capacidad y la calidad de los servicios existentes, es necesario replantear las estrategias de planificación. Por tal motivo, dedicaremos la siguiente sección del documento a presentar la forma como se administran los recursos de radio en redes GSM/GPRS.

### 3.4. Administración de los recursos de radio en redes GSM/GPRS

En la red GSM/GPRS dos tipos de servicios, voz y datos, compiten por los mismos recursos en una red inalámbrica, ambos servicios tienen diferentes necesidades de calidad de servicio, y por lo tanto, el esquema utilizado al compartir los recursos de radio juega un importante papel en el dimensionamiento de la red. Tradicionalmente se han utilizado diferentes modos de transferir información en las redes celulares: La conmutación de circuitos, que es el esquema adecuado para comunicaciones de tiempo real que demandan un flujo continuo de información como GSM o AMPS, y la conmutación de paquetes, que es el esquema más adecuado para aplicaciones que tie-

nen un comportamiento de tráfico a ráfagas como Internet, GPRS o CDPD (Cellular Digital Packet Data). Puede surgir un tercer esquema, denominado conmutación híbrida que es el esquema utilizado en redes como GPRS/GSM o CDPD/AMPS. La conmutación híbrida o de tráfico mixto que soporta ambos tipos de conmutación y puede ser implementada con tres métodos de asignación del canal: división completa (*Complete Partitioning-CP*), reparto completo (*Complete Sharing-CS*) y reparto parcial (*Partial Sharing-PS*). En el esquema de división completa el ancho de banda se divide en dos partes diferenciadas: los usuarios de voz utilizarán únicamente una parte y los usuarios de datos harán uso exclusivo de la otra. En el esquema de reparto completo todo el ancho de banda se comparte por los dos tipos de usuarios, y se asigna de forma dinámica, y en el esquema de reparto parcial, los usuarios de datos tienen parte del ancho de banda en exclusiva, pero también pueden hacer uso del ancho de banda libre de los usuarios de voz. Desde la perspectiva del grado de servicio (*GoS Grade of Service*), los métodos de reparto completo y de reparto parcial son problemáticos para los servicios de voz si no se establecen esquemas de prioridad de estos últimos frente a los servicios de datos. Las políticas de asignación de canales deben ser la resultante de un equilibrio entre el retardo, el throughput y la utilización del espectro. La selección del método óptimo para una red de este tipo debe ser el producto de las estimaciones realistas de tráfico, con

lo que se pretende asegurar un buen rendimiento de ambos servicios.

#### 3.4.1. *Asignación de recursos en GPRS*

La mejor decisión que podría tomar un operador GSM que desee ofrecer servicios GPRS en una red GSM es compartir el espectro existente entre ambos servicios dado que en condiciones de tráfico pico, la utilización media del canal en GSM es bastante modesta. Por esta razón, se asume siempre que se utilizarán de forma compartida los recursos de radio existentes para ambos servicios. La distribución de canales entre los servicios de conmutación de circuitos (GSM) y de conmutación de paquetes (GPRS) puede ser llevada a cabo dinámicamente con base en la demanda de capacidad, carga actual de tráfico y prioridad del servicio.

#### 3.4.2. *Acceso múltiple y ganancia de multiplexación estadística*

GSM asigna de forma permanente un canal a un usuario durante la duración de la llamada mientras que GPRS asigna los canales cuando los paquetes son enviados o recibidos y se liberan después de la transmisión. Con este principio, múltiples usuarios pueden compartir un mismo canal físico (multiplexación estadística) que provoca un mejor aprovechamiento de los recursos de radio y un incremento en la capacidad del sistema. El estándar GSM 05.02 del ETSI define dos modos diferentes de acceso al medio que deberían ser soportados por todas las estaciones móviles: la asignación fija y la asignación dinámica. En la asignación fija, los recursos asignados a un móvil son suficientes para transmitir los datos que ya

tiene listos para la transmisión y éstos son fijos durante un tiempo denominado período de asignación, desde esta perspectiva, un móvil GPRS diferente, puede ser multiplexado en el tiempo en el mismo canal de paquete de datos dependiendo de la duración del período de asignación. En la asignación dinámica se utiliza una bandera denominada *USF:Uplink State Flag* en dirección de bajada para reservar los canales de paquetes de datos de subida a diferentes móviles. El mensaje de «asignación de paquete de subida» incluye la lista de los canales de paquetes de datos asignados al móvil y los correspondientes valores de USF para cada canal. El móvil monitorea los flags en los canales de paquetes de datos asignados y transmite bloques de radio en los que mantiene actualizados los valores reservados de los USF para el uso del móvil. Este esquema proporciona una utilización más flexible de los recursos de radio en general.

### 3.4.3. *Uso asimétrico de los recursos de radio de subida y bajada*

En el caso de transmisiones de conmutación de circuitos, los canales son reservados simétricamente a pares. Sin embargo, en transmisiones de conmutación de paquetes, los canales de subida y de bajada se utilizan como recursos independientes. Esto quiere decir que en cierta ranura TDMA, un canal de subida PDCH puede contener datos de un móvil, mientras que los datos a otro móvil pueden ser transmitidos en el PDCH de bajada. La justificación para este comportamiento es la naturaleza asimétrica del tráfico de datos.

## 4. UMTS

Existe, dentro del ITU, un grupo estratégico denominado *Internacional*

*Mobile Telecommunications*, IMT-2000, que tiene como objetivo de trabajo definir las interfaces entre las redes de tercera generación y las redes que evolucionaron a partir de GSM por una parte, y desde ANSI-41 (su contraparte americana), por otra, para permitir la itinerancia entre estas redes. Por el lado de GSM, el ETSI-European Telecommunications Standards Institute y un grupo de organismos asociados decidieron, en el año de 1998, emprender un proyecto denominado 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) que buscaba establecer los estándares para un sistema móvil de tercera generación que tuviera una red núcleo basada en la evolución de GSM y cuya red de acceso estuviera basada en todas las tecnologías de radio acceso (FDD y TDD). El 3GPP empezó a denominar a los sistemas móviles de tercera generación como Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles (*UMTS-Universal Mobile Telecommunications System*). UMTS ha sido presentada como la culminación de la convergencia de Internet y las redes móviles, en ella, los usuarios tendrán la posibilidad de acceder a contenidos y servicios multimedia de banda ancha independientemente del lugar donde se encuentren.

En 1992, la Conferencia Mundial de Radio (WRC-92) identificó las bandas de frecuencias de 1855-2025 Mhz y 2110-2200 Mhz para los futuros sistemas IMT-2000, destinando las bandas 1980-2010 Mhz y 2170-2200 Mhz para la comunicación vía satélite de estos sistemas.

### 4.1. *Evolución hacia UMTS*

En el marco del 3GPP, el trabajo de especificación de UMTS fue dividido en varias fases hasta alcanzar el ob-



jetivo final: una red integrada de servicios multimedia independientes de la posición del usuario. En la primera fase, denominada Versión 1999 (*Release 1999 o R99*), se propone una evolución más o menos lógica desde las arquitecturas de segunda generación, en ese sentido podría decirse que la palabra que mejor define esta fase es evolución. Sin embargo, en la segunda fase, denominada Versión 2000 (*Release 2000-R00*. Esta fase fue modificada posteriormente como Release 4), lo que se propone es una completa revolución: reemplazar la componente de conmutación de circuitos, que seguía vigente en la versión 99, por una red basada completamente en conmutación de paquetes denominada arquitectura UMTS Todo-IP (*All-IP UMTS network architecture*). En esta propuesta, el protocolo IP adquiere cada vez mayor importancia hasta convertirse en el protocolo para el transporte, tanto de la información del usuario (contenido multimedia), como de la información de control y de señalización, de ahí la denominación de una red «todo IP». Más adelante, en otra sección de este documento, se hará una presentación más detallada de este proceso evolutivo.

#### **4.2. Servicios**

UMTS proveerá servicios de voz y datos, en eso coincide con la red GSM/GPRS, estos servicios serán provistos a diferentes tasas según el ámbito en el que se ofrezcan, en conexiones satelitales y servicios rurales en exteriores, la tasa será de 144 Kbps; en servicios urbanos en exteriores, la tasa será de 384 Kbps; mientras que en servicios de interiores o de exteriores de bajo rango de distancias se podrán alcanzar tasas de hasta 2

Mbps, en esto difiere con la red GSM/GPRS.

En UMTS se han definido cinco clases de servicios portadores con conmutación de circuitos: voz, datos transparentes para soporte de información multimedia, fax no transparente y datos no transparentes.

Los servicios de datos serán provistos con diferente calidad de servicio (*QoS-Quality of Service*). Se han definido clases de calidad de servicio para acomodar cuatro tipos de tráfico. Estos tipos de tráfico, su naturaleza y características básicas se muestran en la Tabla 7).

La universalidad que da el nombre a la tecnología UMTS es un concepto clave en el desarrollo de los servicios de tercera generación, para cumplir con este postulado es necesario observar dos premisas básicas: La primera, la posibilidad de que cualquier entidad u organización pueda desarrollar aplicaciones y servicios gracias a la separación arquitectónica de los planos de transporte y de servicios. La segunda, que el usuario tenga la misma percepción de los servicios recibidos con independencia del terminal que utilice y del lugar en donde se encuentre. Para cumplir con esta segunda premisa básica se desarrolló el concepto de entorno personal virtual (*VHE-Virtual Home Environment*) que puede ser entendido como una característica que permite a un usuario conservar su perfil de servicios, la edición de éstos y la interfaz de acceso, con independencia de la red visitada.

#### **4.3. Arquitectura**

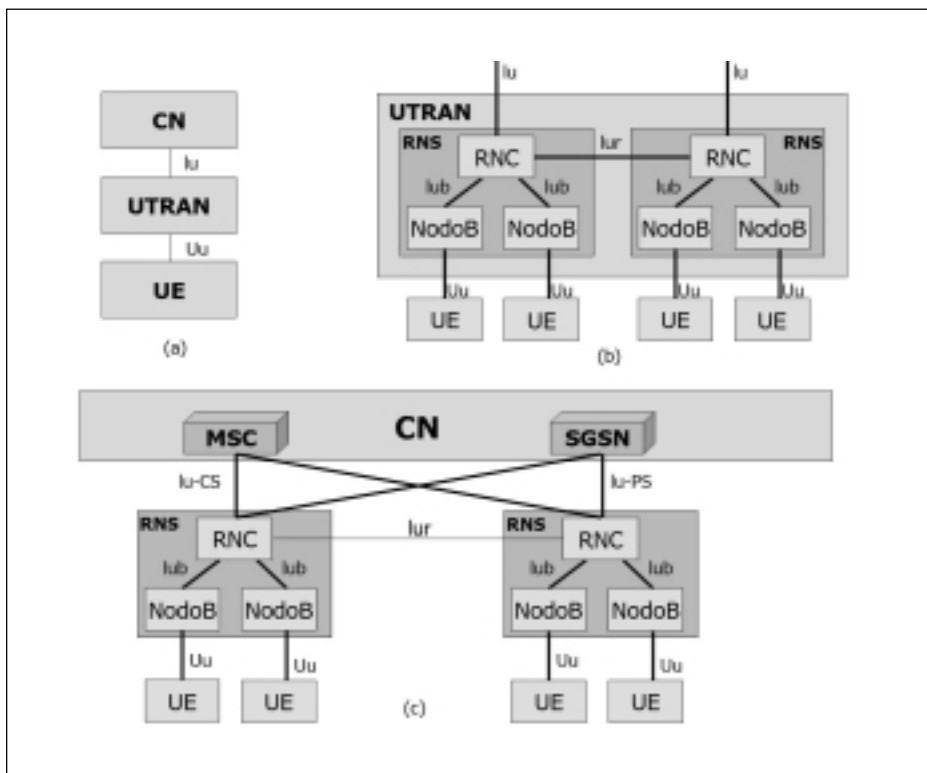
En la descripción que se realiza en la especificación UMTS Versión-99 se

**Tabla 7.** Clases de servicio para los tipos de tráfico en UMTS

<b>Clase de Servicio</b>	<b>Naturaleza</b>	<b>Características Básicas</b>	<b>Ejemplos</b>
Conversacional	Servicios de tiempo real	Preserva el límite del retardo y la variación de tiempo entre paquetes. El retardo es pequeño y constante.	Voz, videoteléfono
Afluente (Streaming)	Servicios de tiempo real	Preserva la variación de tiempo entre paquetes. Retardo constante pero no necesariamente reducido.	Flujo de video o audio
Interactiva	Servicios de tiempo NO real	Modelo de petición y respuesta. Preserva el contenido de los datos. Retardo moderado y bajas tasas de errores.	Navegación en internet
Diferida (Background)	Servicios de tiempo NO real	No es necesaria la interacción. Preserva el contenido de los datos.	Correo electrónico, descarga de datos.

consideran elementos de red de tres categorías: Elementos de la red núcleo de GSM: Entre ellos, el centro de conmutación de servicios móviles (MSC), los registros EIR, VLR y HLR y el centro de autenticación (AuC). Elementos de la red GPRS: Entre ellos, el SGSN y el GGSN. Finalmente, elementos específicos de UMTS: El equipo del usuario (*User Equipment-UE*) y la Red de Radio Acceso Terrestre UMTS (*UMTS Terrestrial Radio Access Network-UTRAN*). En la Figura 8 se muestra el esquema general de la arquitectura UMTS, y al igual como ocurre con la red GSM, el sistema se compone de tres grandes bloques: La red troncal o núcleo (Core Network, CN), la red de acceso a radio (*UMTS Terrestrial Radio Ac-*

*cess Network*) y las terminales móviles (*User Equipment, UE*) (Figura 8a.) La red núcleo (core) de UMTS se encuentra basada en la topología de la red GSM/GPRS, provee funciones de conmutación, enrutamiento, transporte y bases de datos para el tráfico de la red, contiene elementos de conmutación de circuitos, tales como el MSC, el VLR y el GMSC, elementos de conmutación de paquetes, tales como el SGSN y el GGSN, y elementos que soportan ambos tipos de conmutación, tales como el EIR, el HLR y el AuC. La separación de los dominios de circuitos y paquetes se concibe como necesaria debido a la evolución de las redes actuales, aunque la tendencia es hacia una única red troncal «Todo IP» que incluiría tam-



**Figura 8.** Arquitectura UMTS-Bloques funcionales

bién a la red de acceso. Esta separación en dominios y la arquitectura completa de la red se muestran más claramente en la Figura 8.

La Red de Radio Acceso Terrestre UMTS-UTRAN considera la incorporación de dos nuevos elementos: El Controlador de Radio de la Red (*RNC-Radio Network Controller*) y el Nodo B. La UTRAN contiene múltiples Radio Network Systems (RNSs), y cada RNS es controlado por un RNC, el cual conecta uno o más nodos B, cada uno de los cuales puede proveer servicio a múltiples celdas. Detalles de la red de acceso terrestre y sus componentes se muestran en la Figura 8b. El RNC y el Nodo B en la red UMTS tienen funciones equiva-

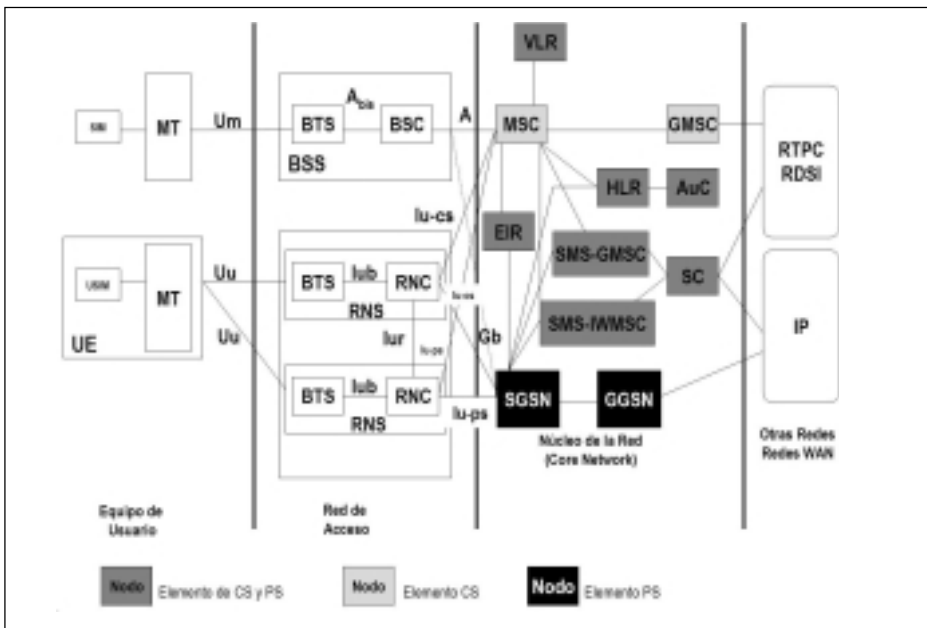
lentes a la función de la BSC y la BTS en las redes GSM/GPRS. Resulta entonces posible compartir la infraestructura civil (torres y demás) entre ambas arquitecturas, solo que en el caso de UMTS, para lograr la cobertura planeada se deben adicionar nuevos emplazamientos, igualmente, la red núcleo se puede compartir, según la versión de GSM que tenga el operador. De este modo, UMTS extiende las redes GSM/GPRS existentes, protegiendo la inversión de los operadores.

#### 4.3.1. Interfaces

UMTS define nuevas interfaces, éstas se muestran en la Tabla 8. Estas interfaces se muestran en la Figura 9.

**Tabla 8.** Interfaces UMTS.

Interfaz		Situada entre
Uu		Equipo de Usuario (UE) y Nodo B
lu	lu-CS	Interface para Conmutación de Circuitos (RNC-MS/VLR)
	lu-PS	Interface para Conmutación de Paquetes (RNC-SGSN)
lub		RNC a Nodo B
lur		RNC a RNC (No tiene equivalencia en GSM).



**Figura 9.** Arquitectura UMTS-Dominios de conmutación de circuitos y paquetes

4.3.2. Controlador de la red de radio  
 Este componente realiza funciones que son equivalentes a las efectuadas por el controlador de estaciones base (BSC) en redes GSM/GPRS. El controlador de la red de radio (*RNC-*

*Radio Network Controller*) provee control centralizado de los nodos B en su área de cobertura, maneja los intercambios de los protocolos en las diferentes interfaces de la UTRAN (lu, lur y lub) y se encarga de la mul-

tiplexación de la información proveniente de los dominios de paquetes y de circuitos desde las interfaces lu-PS y lu-CS para que pueda ser transmitida sobre las interfaces lu, lub y Uu hacia/desde el equipo de usuario (UE). El controlador de la red de radio se encarga entonces del manejo de los recursos de radio, utiliza la interfaz lur para permitir la comunicación con otros RNCs. Esta interfaz no tiene equivalencia en redes GSM/GPRS en donde el manejo de los recursos de radio se realiza en la red núcleo. Entre las funciones de la RNC se incluyen: el control de los recursos de radio, el control de la admisión, la asignación del canal, el control de handover, la segmentación y el reensamble, la señalización de broadcast y el control de potencia.

#### 4.3.3. *Nodo B.*

Este componente es la unidad de transmisión/recepción que permite la comunicación entre las radio celdas, se encuentra físicamente localizado en el sitio donde existe una BTS GSM para reducir los costos de implementación. Se conecta con el equipo del usuario (UE) a través de la interfaz de radio Uu utilizando WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) y soportando los modos FDD y TDD simultáneamente. La interfaz lub provee la conexión entre el nodo B y el RNC usando ATM, en ese sentido, el nodo B es un punto de terminación ATM.

La principal función del Nodo B es la conversión de unidades de datos en la interfaz de radio Uu. Esta función incluye la corrección de errores y la adaptación a la tasa de datos en la interfaz de radio, el monitoreo de la calidad, la potencia de la conexión y el cálculo de la tasa de errores.

#### 4.3.4. *Equipo de usuario UMTS*

Este componente integra el equipo móvil del suscriptor y el *USIM-UMTS Subscriber Identity Module* que tiene una funcionalidad similar a la del SIM en las redes GPRS/GSM. Debe tenerse en cuenta que los terminales de tercera generación ya no serán meros teléfonos móviles, sino dispositivos avanzados que permitirán el intercambio de diferentes tipos de información, deben, por lo tanto, soportar múltiples perfiles de usuario, proveer funciones de seguridad y autenticación del usuario, soportar la incorporación de métodos de pago, deben tener pantalla táctil y cámara integrada, deben ser equipos multifuncionales para permitir el acceso GSM/GPRS/UMTS, deben tener pantallas más grandes, en color y de alta resolución, deben permitir la reproducción de video en MPEG-4 y la audio en MP-3, deben, finalmente, proveer un entorno para la ejecución de aplicaciones.

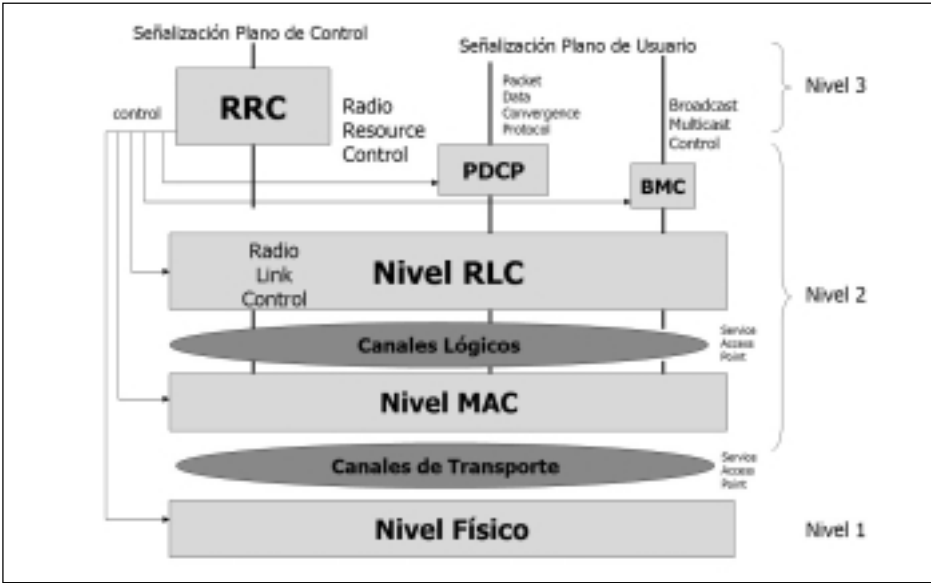
#### 4.4. *Movilidad*

En el caso de UMTS, la movilidad se trata de dos formas diferentes: con conexión dedicada, que corre a cargo de la UTRAN y sin conexión dedicada, en donde la conexión se trata entre el equipo de usuario (UE) y la red núcleo (CN) sin tener en cuenta la capa de acceso mediante procedimientos de registro.

#### 4.5. *Arquitectura de protocolos de la interfaz de radio*

En la Figura 10 se muestra la interfaz de radio en la interfaz Uu.

La interfaz de radio se encuentra compuesta por el nivel 1, que corresponde con el nivel físico; el nivel 2,



**Figura 10.** Interfaz de radio en la interfaz Uu

que se encuentra a su vez compuesto por dos subniveles: el subnivel de acceso al medio (*MAC-Medium Access Control*) y el subnivel de control del enlace de radio (*RLC-Radio Link Control*), y nivel 3, que corresponde con el control de recursos de radio (*RRC-Radio Resource Control*). Se definen tres clases de canales: los canales lógicos, los canales de transporte y los canales físicos. Los canales lógicos expresan el tipo de información que se transfiere por la interfaz radio, pertenecen al nivel de enlace. Los canales de transporte expresan la forma como se transmite esa información y los canales físicos denotan los recursos utilizados: códigos de expansión, frecuencias portadoras e intervalos de tiempo. El nivel físico ofrece diferentes tipos de canales de transporte al subnivel MAC quien a su vez ofrece diferentes canales lógicos al subnivel RLC. Los canales físicos se pueden clasificar de acuerdo con varios criterios:

según el sentido de la transmisión pueden ser ascendentes o descendentes; según la asignación a las estaciones móviles pueden ser comunes o dedicados; y según el tipo de información que intercambian pueden ser de datos o de control.

Son funciones del nivel físico: La codificación y decodificación con control de errores, la supervisión de los canales físicos, la multiplexación/demultiplexación de canales de transporte, la proyección (mapping) de los canales de transporte sobre los canales físicos, la modulación/demodulación de espectro ensanchado en banda ancha (aspecto este que trataremos con más detalle más adelante), el control de potencias y de las antenas, la adaptación de velocidades y todo el procesamiento de radiofrecuencia.

Son funciones del nivel de acceso al medio: La asignación de la correspondencia entre los canales lógicos y los

de transporte, la selección de formatos de transporte según la tasa de transmisión, la gestión de prioridades de servicios, la gestión de prioridades entre terminales según el perfil de tráfico y la supervisión del volumen de tráfico a disposición del subnivel RRC.

Son funciones del subnivel RLC: La transferencia de información entre las subcapas RRC y MAC en tres modos diferentes: transporte, sin acuse de recibo y con acuse de recibo, el tratamiento de la información de capas superiores para cursarla en las unidades de información manejadas por la RLC, la corrección de errores, el ordenamiento de los paquetes, la eliminación de duplicidades y el control del flujo de información.

Son funciones del subnivel RRM: el establecimiento, mantenimiento y liberación de conexiones RRC entre terminales móviles y la red de acceso radio, la gestión de portadoras radio: su asignación, reconfiguración y liberación de recursos, el control del grado de calidad del servicio requerido, el control de admisión, la programación de envío de los paquetes (*packet scheduling*) y el control de congestión.

#### **4.6. Acceso múltiple de radio**

La tecnología de acceso múltiple de radio que ha sido elegida para UMTS es CDMA con expansión por secuencia directa: DS-SS-SSA, en este esquema, el ancho de banda es de 5 MHz por lo que se habla de WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). El esquema de modulación que se ha adoptado es QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Igualmente, se han definido dos modos de funcionamiento en UMTS-WCDMA: El Modo *FDD-Frequency Division Duplexing*, en el

cual existen dos portadoras por canal de radio, estas portadoras son utilizadas para las transmisiones del enlace ascendente y descendente, es decir, el enlace de subida utiliza una banda de frecuencias diferente a la que utiliza el enlace de bajada. Es necesario entonces asignar un par de bandas de frecuencia para su operación, estas frecuencias se denominan frecuencias emparejadas. El modo FDD resulta adecuado para servicios simétricos, con una amplia gama de velocidades. El Modo *TDD-Time Division Duplexing*, en el cual la transmisión de los enlaces ascendente y descendente se realiza sobre una única portadora utilizando intervalos sincronizados, dado que se utiliza un único canal de radio se dice que este modo opera en bandas de frecuencias no emparejadas. El modo TDD resulta adecuado para servicios asimétricos en entornos de interiores y microcelulares. En este modo, los requisitos de sincronización son más estrictos y exigen más márgenes (*overhead*) para los tiempos de guarda y rampas de variación de potencia. El acceso múltiple de radio reconoce entonces bandas emparejadas (*Paired Bands*) y bandas no emparejadas (*Unpaired Bands*). Para las bandas emparejadas, el enlace ascendente se encuentra entre los 1920 y los 1980 MHz, el enlace descendente se encuentra entre los 2110 y los 2170 MHz. Los 60 MHz del espectro alojan a 12 Portadoras. Para bandas no emparejadas, los rangos de frecuencias disponibles se encuentran entre los 2010 y los 2025 MHz y entre los 1900 y los 1920 MHz, esto suma un total de 35 MHz en donde tienen cabida 7 Portadoras. En la Tabla 9 se presentan los canales, lógicos, físicos y de transporte, de UMTS.

**Tabla 9.** Canales lógicos, de transporte y físicos, en UMTS

	<b>Canal</b>	<b>Sentido</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Canales Lógicos	BCCH	Descendente	Control	Difusión de información de la red
	PCCH	Descendente	Control	Aviso a móviles no localizados
	CCCH	Descendente	Control	Señalización con móviles sin conexión RRC
	DCCH	Descendente	Control	Señalización con un móvil específico
	DTCH	Descendente	Tráfico	Transferencia de información con un móvil específico
	CTCH	Descendente	Tráfico	Transferencia de información punto-a-multipunto
Canales de Transporte	BCH	Descendente	Común	Difusión de información de la red y la celda
	FACH	Descendente	Común	Envío de información a móviles cuya ubicación es conocida
	PCH	Descendente	Común	Envío de información a móviles cuya ubicación NO es conocida
	DSCH	Descendente	Común	Asignación de recursos
	RACH	Ascendente	Común	Acceso aleatoria de los móviles
	CPCH	Ascendente	Común	Transmisión de paquetes sin asignación exclusiva.
Canales Físicos	DCH	Bidireccional	Dedicado	Transmisión de información y señalización en un móvil específico
	P-CCPCH	Descendente	Común	Soporta el canal BCH
	S-CCPCH	Descendente	Común	Soporta los canales FACH y el PCH
	PDSCH	Descendente	Común	Soporta el canal DSCH
	PRACH	Ascendente	Común	Soporta el canal RACH
	PCPCH	Ascendente	Común	Soporta el canal CPCH
	DPDCH	Bidireccional	Dedicado	Tráfico de datos del DCH
PDCCH	Bidireccional	Dedicado	Tráfico de señalización del DCH	

### 5. Hacia una arquitectura UMTS basada en «Todo IP»

Como ya lo hemos mencionado en otras secciones del documento, la red GSM/GPRS representó el paso previo en la evolución hacia UMTS, en

el proceso evolutivo hacia su consolidación, se pueden considerar tres fases: La primera, denominada Versión 99 de UMTS, considerada como una «fase de evolución», y la segunda, denominada Versión 4, considerada

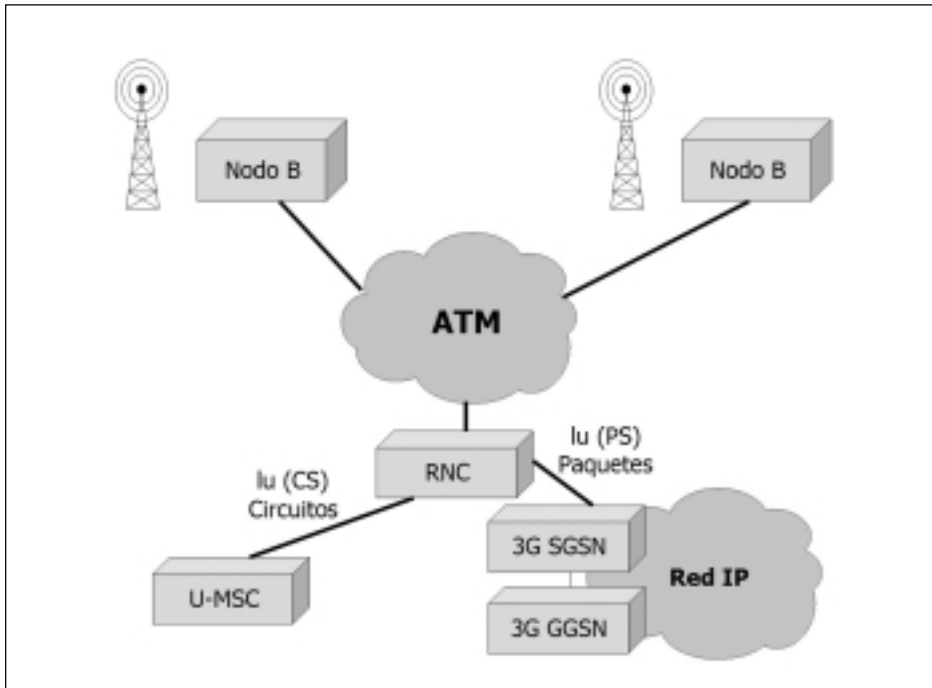


como una «fase de revolución» por todos los cambios que implica. En la tercera fase, que ha sido denominada como Versión 5, todos los servicios serán consolidados sobre una arquitectura de transporte «todo IP». Adicionalmente, en el panorama existe una cuarta fase, denominada Versión 6. En esta sección del documento presentaremos este camino evolutivo y se vislumbra el release 7, HSUPA.

### 5.1. Versión 99

Corresponde con el estándar establecido y será el utilizado por todas las operadoras europeas en el despliegue inicial de UMTS. Esta versión conserva la estructura de la red GSM/GPRS, con la separación de los dominios de circuitos y de paquetes, por lo que no introducirá cambios significa-

tivos en la red núcleo (core network) introducida en GPRS. A diferencia de GPRS, aparece una interfaz de radio, la UTRAN, *UMTS Terrestrial Radio Access Network*, en ella, las BTSs serán sustituidas por nodos B y las BSCs por los RNC (*Radio Network Controller*), aparece la interfaz Iu, en lugar de la interfaz A. Podemos encontrar dos variantes, la interfaz Iu-CS para el dominio de conmutación de circuitos y la interfaz Iu-PS para el dominio de conmutación de paquetes. Tanto en la red de acceso de radio como en la interfaz de la misma con la red núcleo se utilizará ATM o MPLS como protocolo de transporte. Esta es la arquitectura que hemos analizado en la sección previa. La arquitectura de UMTS en la versión 99 se muestra en la Figura 11.



**Figura 11.** Arquitectura UMTS Versión 99

## 5.2. Versión 4

En la versión 4 de UMTS, la voz se transporta sobre IP y aparecen separadas las funciones de control y de conectividad para la voz: Las MSCs dividen funcionalmente sus tareas en *Media Gateways* (MG), responsables por proveer la conectividad, y en servidores de control, responsables por proveer la señalización de control. El MG proporcio-

na la conexión con las redes de conmutación de circuitos utilizando los servicios de un *Media Gateway Controller* (MGC). Para la comunicación entre el MG y el MGC se utilizará el protocolo MEGACO. En la Figura 12 se establece una comparación entre las arquitecturas de las versiones 99 y 4 de UMTS. La arquitectura de UMTS en la versión 4 se muestra en la Figura 13.

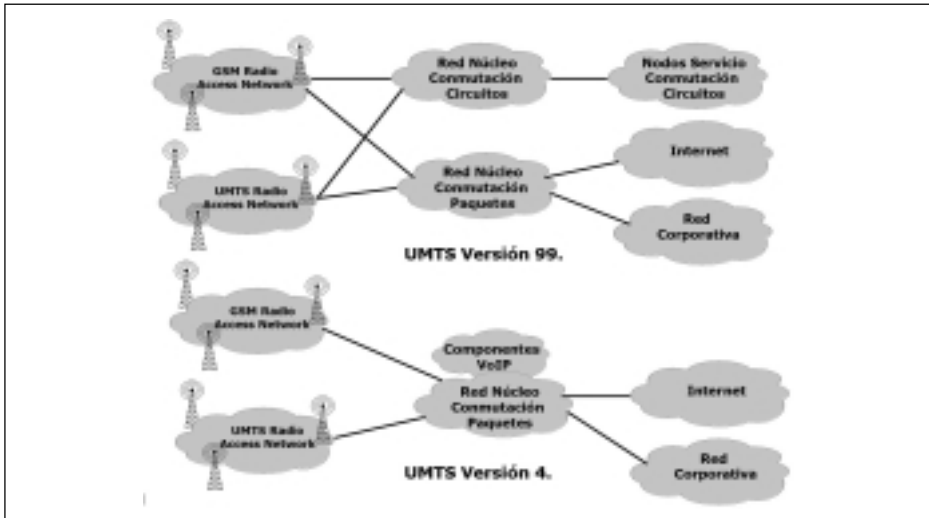


Figura 12. UMTS, versiones 99 y 4

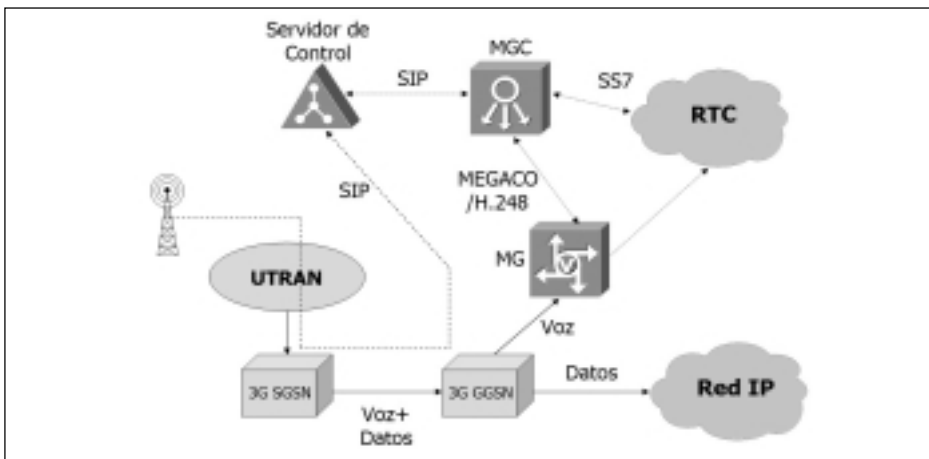


Figura 13. Arquitectura UMTS, Versión 4

### 5.3. Versión 5

La versión 5 de UMTS, será una versión «Todo IP». IP será la tecnología de transporte en la red núcleo (core network) para todo tipo de datos, incluso también en la UTRAN, en lugar de ATM. En esta versión existe además una separación entre los planos de transporte y control con la aparición del subsistema multimedia basado en IP (*IPMS- IP Multimedia System-IMS*) encargado de efectuar toda la administración de los servicios multimedia utilizando señalización SIP sobre portadora de paquetes.

Las entidades funcionales que se identifican en el IMS son:

- El HSS (*Home Subscriber Server*). Que se encarga de almacenar los perfiles de suscripción de los usuarios, puede ser considerado como la evolución del HLR con la incorporación de funciones de control IP multimedia.
- El CSCF (*Call State Control Function*). Responsable por el control de la sesión. Se encuentra a su vez dividido en varias entidades que se comunican entre sí y con el

usuario utilizando SIP. Estas son:

1. El I-CSCF, que se constituye en el punto de entrada y a través del cual, con la ayuda del HSS, se selecciona el S-CSCF.
  2. El S-CSCF, se encarga de recibir las peticiones SIP del usuario y realiza también todo el control de la sesión.
  3. El P-CSCF, que en el caso del roaming selecciona en la red visitada el I-CSCF de origen.
- El MRF (*Multimedia Resource Function*). Responsable por la gestión de las funciones de llamada o sesión con varios participantes y conexiones.

En UMTS Versión 5 se mantendrá la interoperabilidad con otras redes de segunda generación y con las entidades que permiten que ésta sea posible: Media Gateway (MG), Media Gateway Controller (MGC) y Signaling Gateway (SWG).

La arquitectura de UMTS V5 se muestra en la Figura 14.

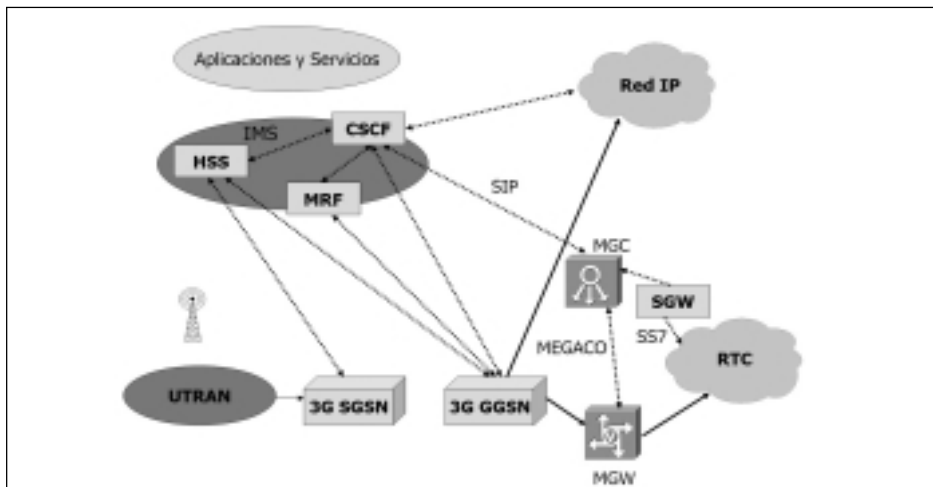


Figura 14. Arquitectura UMTS, versión 5

#### 5.4. Versión 6

En esta versión se propone una ampliación/extensión del IMS-IP Multimedia Services Phase 2. Se contempla entonces la posibilidad de efectuar mensajería a través del IMS.

Esta versión también ofrecerá la posibilidad de conectividad con redes locales inalámbricas (Wíreles LAN).

En la Tabla 10 se resume todo el proceso evolutivo y las características más relevantes de cada versión.

**Tabla 10.** Proceso evolutivo hacia una red «Todo-IP»-Resumen

Versión 99	Versión 4	Versión 5	Versión 6
<p>Se incluye la UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).</p> <p>Utiliza la infraestructura GSM/GPRS en la red núcleo.</p> <p>Red núcleo basada en ATM.</p> <p>Traspaso (handover) entre sistemas UMTS/GSM.</p> <p>Se incluyen el Virtual Home Environment-VHE y la arquitectura abierta de servicios (OSA-Open Service Architecture).</p>	<p>Arquitectura estratificada.</p> <p>Transporte IP para los protocolos de la red núcleo.</p> <p>Calidad de servicio en el nivel de transporte.</p>	<p>Transporte IP sobre la UTRAN.</p> <p>Arquitectura «Todo-IP».</p> <p>Calidad de servicio extremo a extremo.</p> <p>Adición del IP Multimedia Domain System-IMS.</p>	<p>Ampliaciones sobre el IMS.</p>

#### BIBLIOGRAFÍA

- *Material Básico*
- [1]. «Descripción de Sistemas GSM-GPRS». Universidad de Vigo. Escola Técnica Superior de Enxeñeiros de Telecomunicación.
- [2]. «Introducción al UMTS». Universidad de Vigo. Escola Técnica Superior de Enxeñeiros de Telecomunicación.
- *Material de Referencia para GSM*
- [1]. «Wíreles Communications». Rappaport, Theodore. IEEE Press.
- [2]. «The GSM Air Interface Fundamentals and Protocols». Willig, Andreas. Potsdam University.

- [3]. «GSM Overview». Wood, Leo. <http://www.ee.surrey.ac.uk>
- *Material de Referencia para GSM/GPRS*
- [1]. «GSM Phase 2+ General Packet Radio Service GPRS: Architecture, Protocols, and Air Interface». Bettstette, Christian; Vogel, Hans; Eberpacher, Jorg. IEEE Communications.
- [2]. «General Packet Radio Service in GSM». Cai, Jian; Goodman, David. Rutgers University.
- [3]. *Tecnología GPRS*. Material del Profesor Carlos Ramos N.
- *Material de Referencia para UMTS, Evolución hacia Todo-IP*
- [1]. «UMTS: hacia una red todo IP». De Diego, María Victoria; Gallego, Diego; López, José Antonio; Gómez Alberto. Comunicaciones Telefónica I+D. Número 24, de Enero 2002.
- [2]. «UMTS sobre IP». Cuervo Velásquez, Miguel. Sistemas Computacionales de Alta Velocidad. Universidad de Las Palmas Gran Canaria.
- [3]. «Toward an All-IP-Based UMTS System Architecture». Bos, Lieve; Leroy, Suresh. Alcatel.
- [4]. «Nuevos Servicios y Red UMTS». Hernando Rábanos, José María.
- [5]. «Panorámica actual de la estandarización de los sistemas celulares de tercera generación». Herrera, Francisco José; Moreno, Juan Antonio; Vásquez, Juan Manuel; Gutiérrez, Luis Miguel; Morata, Emilio Manuel, Gutiérrez, César. Comunicaciones Telefónica I+D. Número 21, de Junio 2001.
- *Material de Referencia para GSM, GSM/GPRS y UMTS*
- [1]. «Overview of GSM, GPRS, and UMTS». Cisco Mobile Exchange (CMX) Solution Guide.

## CURRÍCULO

**Alvaro Pachón De la Cruz.** Ingeniero de Sistemas de la Universidad ICESI, Especialista en Redes y Comunicaciones de la Universidad del Valle, Doctorado en Tecnologías de Información (en curso) de la Universidad de Vigo. Jefe del Departamento de Redes y Comunicaciones de la Universidad Icesi, Director de la Especialización en Redes de la Universidad Icesi, Profesor de la Universidad Icesi. ☀



# Sistema de Evaluación de Proficiencias en Educación Superior -SERES-

Ricardo Llamosa Villalba

*Universidad Industrial de Santander  
e-mail: nrllamos@cidlisuis.org*

## Investigadores asociados

Adriana Llamosa Ardila, Sandro Castellanos,  
Andrés Guerrero, Liliana Paola Pinilla, Lilia Castellanos, Juddy  
Alexandra Gómez, Víctor Sánchez, María Isabel Benítez,  
Gerardo Latorre

Fecha de recepción: 22-06-2004

Fecha de aceptación: 07-10-2004

## ABSTRACT

The proficiencies evaluation system in Higher Education -SERES- allows: a) The knowledge, being and making integral sufficiency assessment of the student during each stage in the Engineering Professional Formation; and, b) The systemic and systematic knowledge management that can be applied in the teaching, research and extension processes.

The SERES is a research product that is testing phase and it has been developed by the Innovation and Development Center for Software Engineering Research -CIDLIS- in the «Knowledge and Quality Management Model in Higher Education» Project -MGCES- in the E<sup>3</sup>T of the Santander Industrial University. This system nests three sub-systems: The organizational model, the functional model

and the neuronal model. SERES is part of the neuronal model.

The SERES is structured for integral working in the diverse courses of an engineering program, being these basic or advanced courses, under the formal requirement of practices structured activities, formative research and pursuit and control, sustained in a quality plan based in: the disciplined personal and team work, the self-evaluation, the co-evaluation, the evaluation and the hetero-evaluation.

The competences assessment in SERES, is a logical deduction from the professional profile (knowledge), the occupational profile (competitions to make) and the cultural profile (personal, citizen and engineer values) modeling. This model spreads in content guides, knowledge evalua-

tion and knowledge management in each course of the formation program. Starting from this guides, then, its are defined the contents about knowledge, making and being, available, next, for teachers, in the development of their educational practices. As closing to this learning process, it settles down, the teaching products assessment, and, the actions and competences of the students. This quantitative and qualitative assessment pattern is the main instrument of SERES which sustain the quality standard execution evidences, the learning objectives and the achievement of the student's competitions.

#### KEY WORDS

Knowledge Engineering, Knowledge Management, Higher Education Assessment, Assessment Systems, Certification, Accreditation, System Engineering.

#### RESUMEN

El Sistema de Evaluación de Proficiencias en Educación Superior -SERES- permite: a) La valoración integral de suficiencia del saber, del hacer y del ser, de los estudiantes durante cada una de las etapas en la formación profesional en Ingeniería; y, b) La gestión de conocimiento que puede aplicarse, sistémica y sistemáticamente, en los procesos de docencia, investigación y extensión.

El SERES es un producto de investigación que está en fase de prueba y ha sido desarrollado por el Centro de Innovación y Desarrollo para la Investigación en Ingeniería del Software -CIDLIS- en el marco del proyecto: «Modelo de Gestión de Conocimiento y Calidad en Educación Superior» -MG-CES- de la E<sup>3</sup>T de la Universidad Industrial de Santander. Este sistema anida tres subsistemas: El modelo organizacional, el modelo funcional y el

modelo neuronal. SERES es parte del modelo neuronal.

El SERES está estructurado para funcionar integralmente en los diversos cursos de un programa de ingeniería, sean estos básicos o avanzados, con el requisito de formalizarlos en actividades estructuradas de práctica, investigación formativa y seguimiento y control, sustentadas en un plan de calidad, fundamentado en el trabajo disciplinado individual y en equipo, la autoevaluación, la coevaluación, la evaluación y la heteroevaluación.

La evaluación de competencias en SERES es una deducción lógica del modelado del perfil profesional (saberes), el perfil ocupacional (competencias para hacer) y el perfil cultural (valores como persona, ciudadano e ingeniero). Dicho modelo se despliega en guías de contenido, evaluación y gestión de conocimiento en cada uno de los cursos de un programa de formación. A partir de dichas guías, se definen los contenidos sobre el saber, el hacer y el ser, disponibles, luego, para los profesores, en el desarrollo de sus prácticas docentes. Como cierre de este proceso de aprendizaje se establece la valoración de los productos de la enseñanza y del desempeño y la competencia de los alumnos. Este patrón de valoración cuantitativa y cualitativa es el instrumento principal de SERES, con el que sustentan las evidencias de cumplimiento de estándares de calidad, los objetivos de aprendizaje y el logro de las competencias del alumno.

#### PALABRAS CLAVES

Ingeniería del conocimiento, Gestión de conocimiento, Valoración de educación superior, Sistemas de valoración, Certificación, Acreditación, Ingeniería de Sistemas.

**Clasificación Colciencias: A**



## 1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de Evaluación de Proficiencias en Educación Superior -SERES- es un medio para la gestión y valoración de suficiencia, cumplimiento y mejoramiento (interno y externo) de prácticas que conducen a las instituciones educativas a integrar la acreditación, la titulación y la certificación profesional.

Esta ponencia tiene seis apartados. El primero fija la estructura de este documento; el segundo presenta los antecedentes y el contexto de la acreditación, la certificación y la titulación; el tercero, cuarto y quinto exponen el modelo, su estado de implementación y los agradecimientos, las conclusiones y el trabajo futuro de SERES; y el sexto hace referencia a los documentos de apoyo de este artículo.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. ¿Acreditación, certificación o titulación?

La acreditación [1] es un reconocimiento público que una organización consigue, ante la comunidad, al brindar seguridad, bienestar y confianza, con los bienes y servicios que ofrece. Es importante destacar que dichos bienes y servicios son el producto de procesos que, combinados, sistemática y sistemáticamente, agregan valor a las cadenas productivas y a la misma sociedad.

Centrándose en las empresas acreditadas, el reconocimiento de la calidad ocupacional de las personas se certifica, no se acredita, porque la certificación es parte del acreditamiento, el cual exige que los roles de un trabajo concreto se evidencien con habilidades, destrezas y conocimiento, es decir, con competencias.

Hay dos tipos de refrendaciones:

- Los títulos o licencias se designan por los países que son quienes regulan restrictivamente las profesiones u ocupaciones. Según la ley, cada país plantea las condiciones legales que una persona debe reunir para practicar una profesión. Este hecho induce que la diversidad de titulaciones sea una consecuencia del número de países en el mundo y que dichas titulaciones se definan como «del Estado para el Estado».
- Las certificaciones [1], establecidas por organizaciones especializadas, se definen para probar cualificaciones (calificaciones) ocupacionales individuales, en el ejercicio de una profesión o especialidad. Dado que cada certificación es voluntaria, no representa barrera para hacer un trabajo pero sí implica evidenciar conocimiento específico, práctico, hábil, eficaz y efectivo, en una ocupación. En esta perspectiva, las personas se certifican y los efectos se acreditan, es decir, la competencia refiere al proceso y la acreditación refiere al producto o servicio institucional.

### 2.2. ¿Agrupar conocimiento (titulación) y práctica (certificación)?

En el ejercicio laboral de la ingeniería, el enfoque más común entrelaza lo formal y lo informal; [2] un equipo de ingeniería parte de la idea general sobre lo que se quiere construir, y aunque podría tenerse una especificación formal, la satisface, combinando informalmente conocimiento empírico y teórico de metodologías de diseño, producción y depuración. En

el software, los programadores escriben código y lo ejecutan para ver funcionalidad, si no la consiguen cambian y prueban el código tantas veces como requieran hasta lograr su funcionamiento correcto.

El enfoque de «producir - reparar» comparado con el enfoque de «producir - fijar» cuesta, toma más tiempo y requiere de muchas mejoras antes de lograr utilidad y funcionalidad, sin embargo, ha sido difícil introducir la cultura de «producir - fijar» por lo intenso y extenso del entrenamiento estratégico, técnico, organizacional y de soporte, requerido.

Por otra parte, las organizaciones líderes en el mercado de la ingeniería, siempre han creado productos y servicios prácticos, pero con una enorme brecha entre sus prácticas y las mejores prácticas, sin embargo, hoy el espectro de la competitividad mundial en ingeniería demanda el «producir - fijar» y la aplicación sistemática, sistemática, disciplinada y cuantificable de la gestión de los recursos que hagan rentable el hacer y mantener los bienes y servicios producidos.

Los hechos precedentes han propiciado la competitividad profesional sujeta a las mejores prácticas, y particularmente el establecimiento formal de certificaciones de competencia que tienen como requisitos:

- Las titulaciones en educación básica profesional de origen universitario<sup>1</sup> con programas de pregrado.
- El acreditamiento estatal o internacional institucional universitario, como garantía de calidad educativa.
- El desarrollo de proyectos que evidencien competencia y experiencia después de la titulación, para que el egresado certificado en conocimiento<sup>2</sup> ejerza responsablemente su profesión, dado que la educación sola es insuficiente para desarrollar la capacidad profesional.<sup>3</sup>
- La certificación ante organizaciones nacionales o internacionales, que exige evidenciar experiencia y competitividad y la aprobación de un examen de actualidad de conocimientos. Dicha autorización, conseguida por primera vez, debe renovarse periódicamente.<sup>4</sup>
- Las asociaciones profesionales. Los profesionales como grupo, conforman una comunidad que debe cumplir normas para el ejercicio ético y competitivo de su profesión, este hecho es el generador de las asociaciones profesionales, comúnmente dichas organizaciones se encargan de sintetizar los criterios de certificación. Por ejemplo, IEEE y ACM en Informática.

---

1. El Estado colombiano realiza exámenes (Ecades) a los recién egresados en casi todas las profesiones de la educación superior, pero no certifica o re-certifica experiencia.
2. Organismos como IEEE, ISO o ACM definen cuerpos de conocimiento; «La guía del cuerpo de conocimiento del desarrollo de software» sustenta currículos de titulación y exámenes de certificación en Ingeniería del Software.
3. Por ejemplo, la residencia de médicos o la experiencia en ingeniería es exigencia de ejercicio profesional.
4. Dados los permanentes cambios del conocimiento, la educación continua es una necesidad para el profesional. Por ejemplo, los cambios en medicamentos, terapias, equipo, diagnóstico o procedimientos de tratamiento, inducen a los médicos a complementar su formación inicial para asegurar competencia profesional.

- El código de ética. Cada profesión tiene un código de ética que establece las funciones y deberes del practicante y las condiciones para la pérdida de su licencia para la práctica de su profesión.

### 2.3. ¿Qué debe certificarse o qué licenciarse?

La certificación exige el análisis riguroso y sistemático de las instituciones reguladoras, encargadas de identificar y verificar elegibilidad y suficiencia. La elegibilidad se sustenta con la experiencia y la suficiencia se consigue con la aprobación de un examen de conocimiento. El establecer este procedimiento demanda una acción planificada para discutir, analizar y establecer las áreas de práctica y conocimiento por evaluar.<sup>5</sup>

La elegibilidad y la suficiencia [1] [2] [4] surgen del análisis y especificación de las mejores prácticas de conocimiento, con un mínimo de 9.000 horas de experiencia reconocida para la elegibilidad, de acuerdo con unos conocimientos válidos establecidos. El establecimiento del examen de suficiencia requiere de las siguientes etapas:

- Especificaciones de exámenes: Síntesis de cuerpos y prácticas de conocimiento para elaborar las preguntas de los exámenes.
- Desarrollo de ítems de exámenes: Proceso de construcción de un banco de preguntas, después de su edición, prueba, validación y aprobación ante una muestra poblacional.
- Desarrollo, ensamble, revisión y prueba del cuerpo de exámenes para elaborar un banco de pruebas.

- Validación de exámenes, valoración estadística de una muestra poblacional para estimar corte de aprobación, confidencialidad, confiabilidad, capacidad, eficiencia y confianza de la prueba.
- El empaque, documentación y ofrecimiento<sup>6</sup> de la prueba a la comunidad, una vez validada.

### 2.4. Consideraciones políticas

Las reflexiones políticas se sustentan en:

- *Implicaciones de la acreditación y certificación.* ¿Un profesional titulado practica necesariamente su profesión?; ¿la carrera profesional involucra más de un país?; ¿qué es más importante, la titulación o la certificación?; ¿se necesita una red internacional para ganar conocimiento guiado por normas nacionales o internacionales y por qué la certificación es requisito?
- *Implicaciones de la relación Estado - Industria.* ¿Puede la Universidad certificar?; ¿quién debe certificar?; ¿quién debe titular o licenciar?; ¿la licencia y la certificación deben renovarse?
- *Conocimiento para la certificación o licenciamiento.* ¿El cuerpo de conocimiento debe emerger de la industria o de la universidad?; ¿deben certificarse los profesores?; ¿quiénes deben certificar a los profesores?; ¿el currículo profesional para licenciamiento debe ser regulado por el Estado?; ¿el currículo profesional para certifi-

5. En IEEE se conforma un comité sectorial de expertos, encargado de sintetizar las áreas y cuerpos de conocimiento proporcionados por gremios, científicos y practicantes.

6. Actualmente empresas especializadas ofrecen capacitación para preparar y hacer los exámenes por internet.

cación debe ser regulado por el Estado, por las agremiaciones de empresas o las asociaciones profesionales?

### 2.5. Sistema de gestión de conocimiento en educación superior

La propuesta que describe este artículo es producto de la investigación desarrollada por el Centro de Innovación y Desarrollo para la Investigación en Ingeniería del Software -CIDLIS- en el proyecto: «Modelo de Gestión de Conocimiento y Calidad en Educación Superior» -MGCES-. Este sistema anida tres subsistemas:

- El modelo organizacional establece la arquitectura de componentes del sistema.
- El modelo funcional describe los procesos, actividades y tareas direccionales, primarias y de apoyo, que se alojan en transversal (como un todo) y verticalmente (en cada componente) dentro del modelo organizacional.
- El modelo neuronal define el sistema de variables e indicadores que soportan la evaluación o valoración del sistema total. Se aloja dentro del modelo funcional y por ende dentro del modelo organizacional.

La Figura 1 describe el modelo MGCES como un todo (sistema) en el que se aprecia el alcance estratégico, táctico, logístico y operativo del

sistema. Se debe observar en la mencionada Figura cómo se ven los individuos desde la perspectiva del ser, saber y hacer, y su relación con los procesos, los roles, las competencias y el trabajo en grupo (Grupos Autónomos de Aprendizaje Asociativo -GRAPAS-) y el logro de resultados y productos.

### 3. ESPECIFICACIÓN DE SERES

El Sistema de Evaluación de Proficiencias en Educación Superior -SERES- (Figura 2) está sustentado en los siguientes aspectos conceptuales y técnicos:

*La globalidad según Porter [2] y el «Planear - Hacer - Valorar - Actuar» (PHVA) [3] aplicado a:*

- El pensamiento estratégico personal, con infraestructura y competencias para «ser», «saber hacer», «hacer», «valorar» y «mejorar» procesos, productos y / o servicios.
- La educación como servicio público regulado a través de convalidaciones estatales (certificaciones o titulaciones) o empresariales (acreditaciones).
- *El Aseguramiento de la Calidad en la Educación -ACE<sup>7</sup>-* [5] [6] de acreditación de estándares<sup>8</sup> de alta calidad y registro calificado en Colombia.
- *La orientación a los procesos* [3] con estrategias<sup>9</sup> (Figura 3) or-

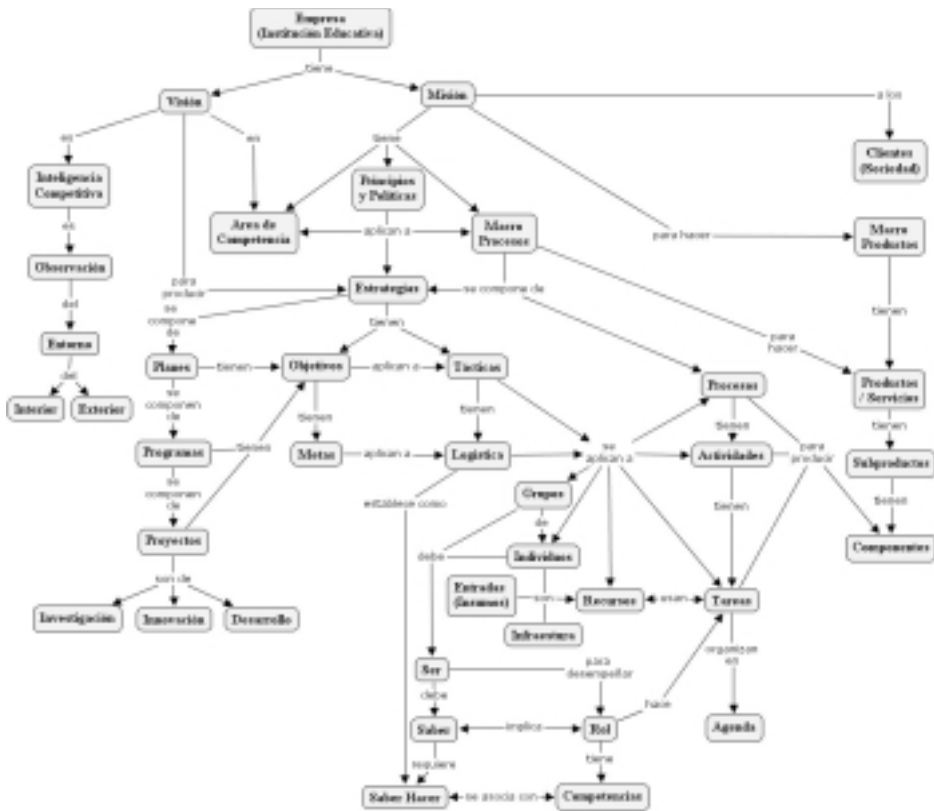
7. © Derechos Reservados, CIDLIS de la UIS.

8. Misión y proyecto institucional; Bienestar institucional; Profesores y estudiantes; Procesos académicos; Investigación; Pertinencia e impacto social; Autoevaluación y autorregulación; Organización, gestión y administración; Planta física; Recursos de apoyo académico; y recursos financieros.

9. Resultados [5] que satisfagan plena y consistentemente a estudiantes, graduados, docentes, personal, empleadores, proveedores y la sociedad en su conjunto.

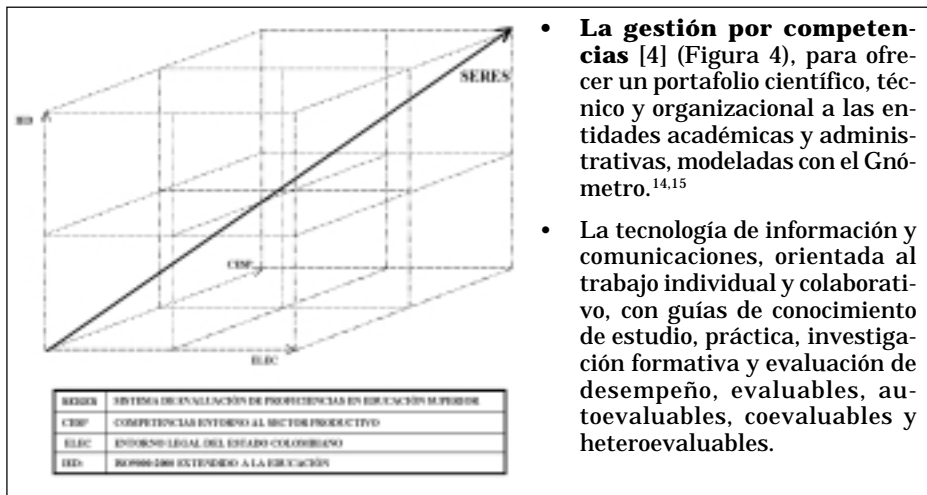
ganizacionales,<sup>10</sup> directivas,<sup>11</sup> de apoyo<sup>12</sup> y de docencia, investigación y extensión<sup>13</sup> de titulación o certifi-

cación para cerrar brechas de conocimiento, habilidad y comportamiento con el entorno laboral.



**Figura 1.** Sistema de gestión de conocimiento y calidad en educación superior.

10. Procesos estratégicos determinantes de la estructuración o composición y el alcance organizacional educativo.
11. Liderazgo para el perfeccionamiento estratégico; la gestión de la infraestructura y el ambiente de trabajo; la gestión de educadores, directivos, administrativos, financieros y economistas; y, la gestión de titulaciones.
12. Apoyo a la docencia, la investigación y la extensión y los demás procesos misionales del saber, el saber hacer y el hacer de los educandos; la comunicación interna y externa; la función administrativa; la gestión de recursos.
13. El seguimiento de la enseñanza-aprendizaje que otorga al educando reconocido sobre saber, saber hacer y hacer.



- **La gestión por competencias** [4] (Figura 4), para ofrecer un portafolio científico, técnico y organizacional a las entidades académicas y administrativas, modeladas con el Gnómetro.<sup>14,15</sup>
- La tecnología de información y comunicaciones, orientada al trabajo individual y colaborativo, con guías de conocimiento de estudio, práctica, investigación formativa y evaluación de desempeño, evaluables, autoevaluables, coevaluables y heteroevaluables.

**Figura 2.** Modelo integral de SERES

#### 4. IMPLEMENTACIÓN DE SERES

La implementación conceptual, educativa y experimental de SERES sugiere una institución educativa con una visión y una misión fundamentadas en áreas competitivas, medidas, umbrales y horizontes temporales<sup>16</sup> que transforme individuos en seres gestores de consecuencia tecnológica, financiera, económica y social de ¿cuándo?, ¿con qué?, ¿cómo?, ¿cuánto costará?, y, ¿cuál es su alcance?

Un ejemplo de implementación es la estrategia educativa utilizada por el CIDLIS de la UIS en el pregrado para lograr el alcance integrador entre la universidad y el sector productivo, que plantea:

- Una correlación enseñanza - práctica para que el estudiante adquiriera experiencia en el pregrado y el posgrado, con proyectos de ingeniería certificables por el sector productivo.<sup>17</sup>
- El desarrollo de material educativo, deducido de la estrategia institucional de los distintos programas de pregrado, particularmente a la E<sup>3</sup>T<sup>18</sup> de la UIS.

#### 5. CONCLUSIONES, TRABAJO FUTURO Y AGRADECIMIENTOS

El trabajo de SERES es una estrategia de acercamiento de la Universidad y el sector productivo que integra saber, hacer y ser, con investigaciones ejecutadas por grupos y cen-

14. Gnómetro (©) Derechos Reservados, Instituto Tecnológico Iberoamericano de Informática, Sistema «Balanced Scorecard» para alinear organización, indicadores calibrables, estrategias y resultados de desempeño.

15. Utilizable en la selección de personal según competencias con entrevistas y parámetros de ingreso.

16. **Atributo:** cobertura. **Escala de medida:** demanda satisfecha. Umbral: 50 %. **Horizonte temporal:** 2 años.

17. Una estrategia de desarrollo de proyectos de Ingeniería en la Universidad se aprecia [9]

18. Cursos de Probabilidad y Estadística, Circuitos Eléctricos y Sistemas de potencia.

tros de investigación, generando conocimiento y haciendo experiencia con calidad y rendimiento para la mejora social. El modelo usa TIC, modelos de calidad y estándares internacionales en la docencia, la investigación y la extensión.

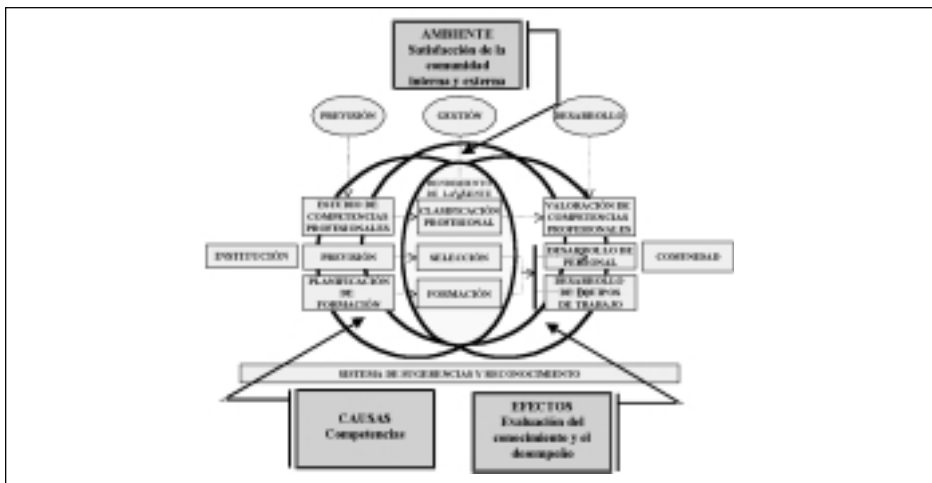
El trabajo conseguido hasta el momento es el principio para hacer productos o servicios susceptibles de transferir recurso humano calificado, o productos útiles al sector productivo. El trabajo futuro implica la vali-

dación y desarrollo de sistemas, guías y contenidos de aplicación pública con tecnologías y normas de uso en los distintos campos del saber en las diferentes regiones colombianas.

Los participantes en el proyecto agradecen la colaboración prestada por los docentes, los directivos y los demás recursos humanos de la E<sup>3</sup>T de la UIS, quienes siempre han estado atentos a colaborar con interés en nuestras iniciativas.



**Figura 3.** ISO 9000: 2000 en SERES



**Figura 4.** Competencias en SERES

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE, Certification Road Map: The Journey and the Destination, Certified Software Development Professional, [http://www.computer.org/certification/cert\\_for\\_you.htm](http://www.computer.org/certification/cert_for_you.htm), 2004.
- [2] McConnell S y Tripp L. La Certificación Profesional: ¿Realidad o ficción? IEEE Software Magazine, noviembre, 1999.
- [3] Marmolejo L. A. y Otros, La certificación ISO 9000 y la autoevaluación en Instituciones de Educación Superior, [www.monografias.com](http://www.monografias.com).
- [4] Organización Internacional del Trabajo. Calidad en organismos de formación; febrero 2004, [http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/temas/calidad/exp\\_inst/index.htm](http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/temas/calidad/exp_inst/index.htm)
- [5] Llamosa y otros. Aseguramiento de calidad en educación - ACE - CIDLIS- 2003, [www.cidlisuis.org](http://www.cidlisuis.org).
- [6] Llamosa y otros. «Modelo de Asociaciones Productivas Software

Emergentes de Centros de Investigación y Desarrollo Universitario», ACOFI, XXXV Encuentro Nacional de Facultades de Ingeniería, 2003.

## CURRÍCULO

El doctor Ricardo Llamosa Villalba es Ingeniero de Telecomunicación, MSC en Informática, Ingeniero de Sistemas, Director Científico del CIDLIS, Director Científico del Instituto Tecnológico Iberoamericano de Informática, Profesor Titular Laureado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Investigador principal del presente texto.

Los investigadores asociados citados al comienzo hacen parte del CIDLIS, Grupo de Investigación Certificado ISO9001:2000 en proyectos de investigación en ingeniería del software. Grupo de Investigación reconocido por Colciencias con vigencia hasta el 2006. ☼



# Sistemas MIMO como Alternativa para el Control del Efecto Multitrayectoria y de la Interferencia Co-Canal en Sistemas de Radio Móvil Satelital y Terrestre

Alexis Paolo García Ariza

E<sup>3</sup>T- Universidad Industrial de Santander  
paolo\_1@ieee.org

Fecha de recepción: 29-07-2004

Fecha de aceptación: 17-11-2004

## ABSTRACT

The Multiple Inputs Multiple Outputs -MIMO- Systems are advanced technique both the radio signal fading control, problem associated to multipath effects, and co-channel interference mitigation in mobile systems, using array antennas and space-time processing.<sup>1</sup> This technique lets improve the wireless systems performance and increase its data transmission capacity under dynamic environments. The paper presents both the basic concepts over multipath propagation in mobile satellite and terrestrial systems, and a research proposal in MIMO techniques for DS-CDMA systems. This research is presented to European Union for RadioGIS-UIS and MCG-UPV groups,

supported by the Alban Program - High Level Scholarships for Latin America-. The research will be development at Communications Department of Polytechnic University of Valencia -UPV- like author's Doctoral work.<sup>22</sup>

## KEY WORDS

Antenna arrays, bandwidth, capacity, channel, coherent bandwidth, Doppler effect, DS-CDMA, fading, impulse response, MIMO channel, mobile systems, multipath, propagation, satellites, space-time processing, statistics.

## RESUMEN

Una técnica avanzada para el control del desvanecimiento de señales de

radio, problema asociado a efectos de propagación multitrayectoria, y la mitigación de la interferencia co-canal en sistemas móviles, son los Sistemas de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas (MIMO-Multiple Inputs Multiple Outputs<sup>1</sup> basados en arreglos de antenas y procesado de señales espacio-temporales, los cuales buscan mejorar el desempeño de los sistemas inalámbricos aumentando la capacidad de transmisión de datos bajo entornos dinámicos. En este artículo se presentan los conceptos básicos sobre propagación multitrayectoria en sistemas móviles satelitales y terrestres, y la propuesta de investigación en técnicas MIMO para sistemas DS-CDMA planteada por los Grupos RadioGIS-UIS y MCG-

UPV ante la Comunidad Europea por medio del Programa Alban de Becas de Alto Nivel para América Latina. Esta investigación se llevará a cabo en el Departamento de Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia -UPV- como trabajo de Doctorado por parte del autor.<sup>22</sup>

#### **PALABRAS CLAVES**

Ancho de banda, ancho de banda coherente, arreglo de antenas, canal, capacidad, desvanecimiento, DS-CDMA, efecto Doppler, estadística, MIMO, multitrayectoria, procesado espacio-tiempo, propagación, respuesta al impulso, satélites, sistema móvil.

**Clasificación : C**

## I. INTRODUCCIÓN

Antes de abordar lo relacionado con la propuesta de investigación en técnicas MIMO, se describirán las características de propagación de un canal inalámbrico para sistemas móviles basados en satélites y radio bases en tierra bajo consideraciones de desvanecimiento a pequeña escala, efectos multitrayectoria o *multi-path* y sistemas multiusuario. La razón de esta metodología en el desarrollo del contenido obedece más a un objetivo didáctico, pues el tema no ha sido estudiado ampliamente en Colombia.

Siguiendo este objetivo, el describir los sistemas inalámbricos, sus ambientes de propagación multitrayectoria, los fenómenos asociados, y algunas técnicas utilizadas, permitirá al lector entender de una forma más rápida las técnicas MIMO planteadas para el control del desvanecimiento a pequeña escala, o más explícitamente, para el control de la rápida fluctuación en amplitud de una señal de radio sobre un corto periodo o una distancia corta en relación con la longitud de onda de la señal, en busca de incrementar la capacidad de los sistemas de comunicación móvil.

Con estas consideraciones de *pequeña escala* y procesado espacio-temporal en MIMO, los efectos de *gran escala* (asociados a la difracción de la señal, causada por obstrucciones en el trayecto de propagación) pueden ser ignorados y los demás ser controlados para mejorar el desempeño de los sistemas de comunicaciones móviles basados en satélites (en órbitas GEO: *Geostationary Orbit*, LEO: *Low Earth Orbit*, MEO: *Medium Ear-*

*th Orbit*, o HEO: *Highly Elliptical Orbit*,<sup>37, 76</sup> en plataformas de gran altitud (HAP: *High-Altitude Platform*,<sup>71, 75</sup> en sistemas de radio bases en tierra (sistemas TDMA: *Time Division Multiple Access*, GSM: *Global System for Mobile Communication*, CDMA: *Code Division Multiple Access*<sup>1, 35, 51</sup> y WCDMA: *Wideband Code Division Multiple Access*,<sup>34</sup> y en sistemas para interiores o *Indoor* (en túneles,<sup>36</sup> oficinas, estaciones, etc.).<sup>48</sup>

Hasta la fecha se han empleado diferentes técnicas de control para los fenómenos asociados a la propagación multitrayectoria y la interferencia multiusuario, como esquemas de acceso múltiple robustos, modulaciones digitales apropiadas, esquemas de equalización y codificación,<sup>48, 51</sup> y arreglos de antenas.<sup>1, 51</sup> Todas estas técnicas presentan diseños específicos para cada sistema inalámbrico debido a que las variaciones en amplitud y fase en la señal resultante de la sumatoria destructiva o constructiva de las múltiples versiones de la señal original dependen de la intensidad de las señales recibidas, del tiempo de propagación de las versiones multitrayectoria y del ancho de banda de la señal, lo que está directamente relacionado con el entorno de propagación y el sistema de comunicación utilizado. En esta discriminación de sistemas, entornos y aplicaciones, se ha planteado la propuesta *Procesado Espacio-Temporal para Canales de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas (MIMO) en Sistemas DS-CDMA De Cuarta Generación En Entornos Urbanos Con Terreno Irregular*,<sup>22</sup> en busca de obtener ventajas

adicionales en relación con otras alternativas analizadas, pues se podrá controlar simultáneamente el efecto multitrayectoria y la interferencia co-canal.

En esta línea de investigación viene trabajando desde hace tres años el grupo de investigación en Radiocomunicaciones y Sistemas de Información Geográfica-GIS, RadioGIS, asociado a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones-E<sup>3</sup>T de la Universidad Industrial de Santander, realizando labores en la apropiación de conocimiento y generación de nuevas alternativas en el área de propagación de ondas electromagnéticas para la planificación, optimización y gestión de sistemas de comunicaciones inalámbricos en entornos andinos. En el marco de su plan de trabajo y consolidación, y gracias al apoyo de los grupos I2T (Grupo de Investigación en Informática y Telecomunicaciones) de la Universidad ICESI y MCG (*Mobile Communication Group*) de la Universidad Politécnica de Valencia-UPV, RadioGIS ha planteado una propuesta de investigación<sup>22</sup> que permitirá al grupo adentrarse en nuevas alternativas con perspectivas de aplicación regional y global para sistemas móviles satelitales y terrestres.

## II. PROPAGACIÓN MULTITRAYECTORIA Y DESVANECIMIENTO A PEQUEÑA ESCALA

Para analizar los procesos y técnicas utilizados en los equipamientos de comunicación inalámbrica que buscan la correcta recepción y transmisión de la información en entornos dinámicos, es relevante comprender los diferentes fenómenos asociados a

la propagación de las ondas electromagnéticas sobre las cuales se transmite la información. En este sentido, el fenómeno de multitrayectoria en el canal, ocasionado por múltiples reflexiones, difracciones y dispersión de la señal transmitida y que llegan al receptor, crea efectos de desvanecimiento a pequeña escala, de los cuales los tres más importantes son:

- Rápidos cambios en la intensidad de la señal sobre una corta distancia de viaje o en intervalos.<sup>8</sup>
- Modulación de frecuencia aleatoria debido a cambios Doppler<sup>48</sup> en diferentes señales multitrayectoria.
- Dispersiones en el tiempo (ecos) causadas por retardos en la propagación multitrayectoria.<sup>51</sup>

El desvanecimiento a *pequeña escala*, o simplemente *desvanecimiento*, es un término para describir la rápida fluctuación de la amplitud de una señal de radio en un corto periodo o durante el viaje de ésta en una distancia corta en relación a su longitud de onda,<sup>8</sup> tal como se aprecia en la Figura 1. Considerando el *desvanecimiento*, los efectos de pérdidas a gran escala (ver en la Figura 2 la línea con variación lenta respecto a la posición) pueden ser ignorados, como los ocasionados por sombreado o *Shadowing* y cuya relación física está dada por lo general por efectos de difracción debido a obstrucciones en el trayecto del transmisor al receptor.<sup>51</sup>

El desvanecimiento a pequeña escala es causado por la interferencia entre dos o más versiones de la señal transmitida cuando llegan al receptor con muy poco tiempo de diferencia. Estas señales son llamadas *Se-*

ñales de *Multitrayectoria* o multipath, y son combinadas en la antena receptora para obtener una señal resultante la cual puede variar de gran forma en amplitud (en un rango de 35 a 40dB en distancias aproximadas a media longitud de onda, tal como se aprecia en las Figuras 1 y 2) y fase, dependiendo de la distribución de intensidad, del tiempo relativo de propagación de las ondas y del ancho de banda de la señal transmitida (el cual varía de un sistema a otro).

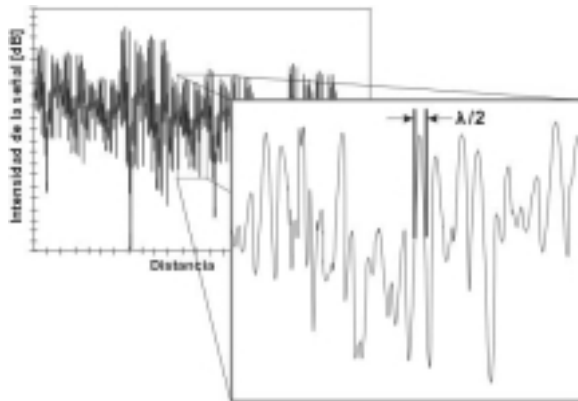
#### *Factores físicos en un canal inalámbrico terrestre y satelital*

Algunos factores físicos en el canal de propagación influyen en el desvanecimiento a pequeña escala; los principales son:

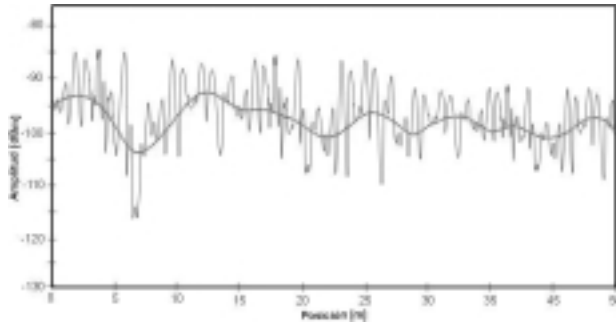
#### **1) Propagación Multitrayectoria:**

La presencia de objetos reflectores y dispersores en el entorno crea un

cambio constante en el canal de propagación de la señal, lo que disipa energía en amplitud, fase y tiempo. Estos efectos producen múltiples versiones de la señal transmitida que llega a la antena receptora, desplazadas una respecto a la otra en tiempo y orientación espacial, tal como se aprecia en la Figura 3 para un sistema móvil terrestre tipo Indoor, en la Figura 4 para un sistema móvil terrestre Outdoor, y en la Figura 5 para un sistema satelital. De estos tipos de propagación multitrayectoria se destaca que los tiempos de viaje de las ondas son distintos y el modelado de cada uno de los canales se debe hacer con consideraciones estadísticas diferentes, lo que en últimas se traduce en el diseño de equipos de comunicaciones específicos para cada entorno y la aplicación de técnicas de mitigación de diferentes variantes.



**Figura 1.** Señal bajo desvanecimiento a pequeña escala. Tomado de: García A., Alexis Paolo. Análisis de cobertura y de Densidad de Potencia Bajo un Entorno Andino. Universidad Industrial de Santander-E3T, Maestría en Ingenierías, Línea de Telecomunicaciones, Julio de 2004.



**Figura 2.** Señal bajo desvanecimiento a grande y pequeña escala. Tomado de: García A., Alexis Paolo, Análisis de cobertura y de Densidad de Potencia Bajo un Entorno Andino. Universidad Industrial de Santander-E3T, Maestría en Ingenierías, Línea de Telecomunicaciones, Julio de 2004.

**2) Velocidad Relativa:** El movimiento relativo entre el transmisor (satélite, radio base o punto de acceso) y el móvil produce una modulación en frecuencia aleatoria debido a diferentes efectos Doppler<sup>48, 51</sup> en cada una de las componentes multitrayectoria (ver Figura 6). Si la función  $\rho(t)$  describe la distancia entre el transmisor y el receptor respecto al tiempo, ésta dependerá del rango, velocidad y aceleración relativos. Desde el punto de vista de aplicación, las limitaciones en el procesado de señales en sistemas de comunicaciones móviles para el control de este fenómeno, se relacionan con la intensidad de la señal recibida, el ruido, y los cambios de nivel debido al paso de la señal por los bloques de RF, IF y Banda Base, donde en este último se espera el desplazamiento Doppler siga siendo perceptible para su detección y control.

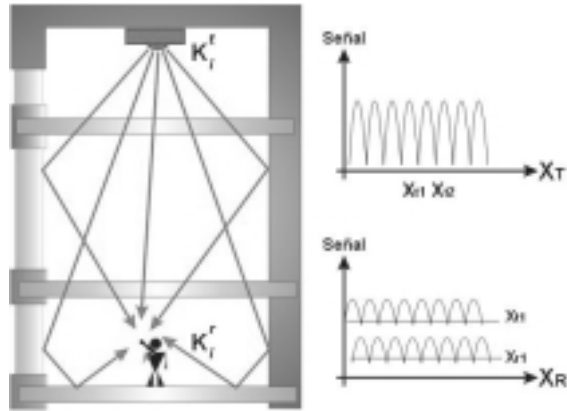
**3) Velocidad de Objetos Cercanos:** Si los objetos del entorno se encuentran en movimiento, inducen un efecto Doppler variando el tiempo en las componentes multitrayectoria. Si los objetos cercanos se mueven a mayor

velocidad que el móvil, entonces este efecto domina el desvanecimiento a pequeña escala.<sup>48</sup>

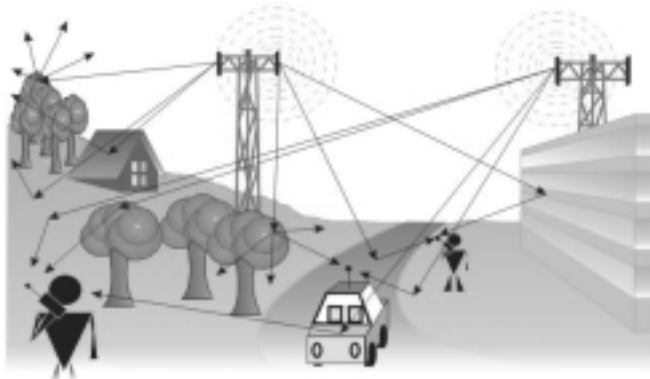
**4) El Ancho de Banda de la Señal:** Si el ancho de banda de la señal transmitida es más grande que el “ancho de banda” del canal multitrayectoria, la señal recibida puede ser distorsionada (debido a los tiempos diferentes de recepción de todas las componentes de frecuencia del espectro de la señal modulada y a que estos retrasos relativos son grandes comparados con la unidad básica de información transmitida sobre el canal; usualmente un símbolo o un bit), pero la intensidad no decaerá demasiado sobre un área local (el desvanecimiento a pequeña escala de la señal no será significativo sobre todo el espectro). Si la señal transmitida tiene un ancho de banda estrecho comparado con el del canal, la amplitud de la señal cambiará rápidamente, pero la señal no se distorsionará en el tiempo (todo el ancho de banda se verá afectado por los mismos tiempos de propagación y presentará una atenuación constante de todo el espectro). Un ejemplo muy claro donde

se aprovecha este fenómeno es el esquema de acceso múltiple CDMA (esquema de espectro expandido) utilizado en sistemas satelitales y terrestres,<sup>35, 37</sup> donde se demuestra aún mas su potencialidad al aplicarlo en sistemas MIMO,<sup>9, 39, 40, 58, 60</sup> utilizando técnicas DS-CDMA (CDMA de Secuen-

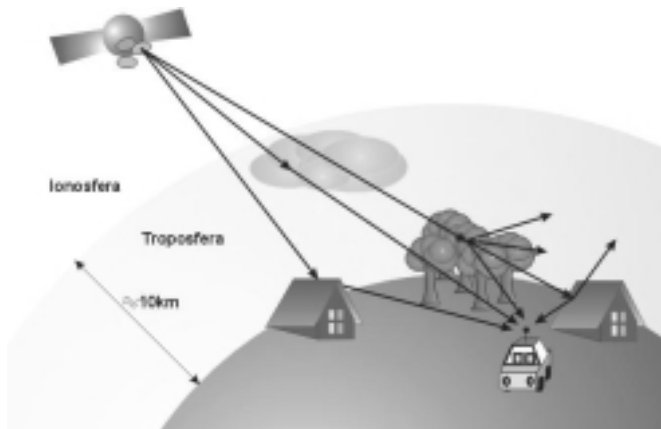
cia Directa: *Direct Sequence CDMA*), permitiendo controlar el fenómeno de Interferencia Intersímbolo (ISI: *Inter-symbol Interference*) y otros problemas asociados a la propagación multitrayectoria y a la interferencia co-canal.<sup>51, 76</sup>



**Figura 3.** Modelo de efecto multitrayectoria en un entorno Indoor. Tomado de: García A., Alexis Paolo. Seminario de Comunicaciones Móviles. Diapositivas de clase. Universidad Industrial de Santander-E3T, Jul. 2004.



**Figura 4.** Modelo de efecto multitrayectoria en un entorno Outdoor. Tomado de: García A., Alexis Paolo. Seminario de Comunicaciones Móviles. Diapositivas de clase. Universidad Industrial de Santander-E3T, Jul. 2004



**Figura 5.** Entorno local de propagación en un sistema de comunicación móvil satelital. Tomado de: García Ariza, Alexis Paolo, “Comunicaciones Satelitales, Ciclo IV-Cohorte IV”, Texto Guía para el curso de Comunicaciones Satelitales de la Especialización en Telecomunicaciones de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, UIS. Publicación impresa, Junio de 2004, p.36.

Una forma más clara de comprender la relación entre el ancho de banda del canal y el ancho de banda de la señal (entendiéndose que una señal puede comportarse como de banda ancha o de banda angosta dependiendo de los retardos de propagación multitrayectoria del canal), es hacer una comparación de una señal de ancho de banda constante sometida a dos entornos diferentes de propagación que ocasionen retrasos multitrayectoria distintos. Como ejemplo, podría pensarse en una señal de ancho de banda de 1 MHz transmitida en un entorno *Indoor*, y esa misma señal transmitida en un entorno *Outdoor*, tal como se aprecia en las Figuras 3 y 4 respectivamente. Si se consideran sólo dos trayectos de propagación y para el primer caso un retardo de diferencia entre componentes de sólo  $0.1 \mu\text{s}$  (como podría

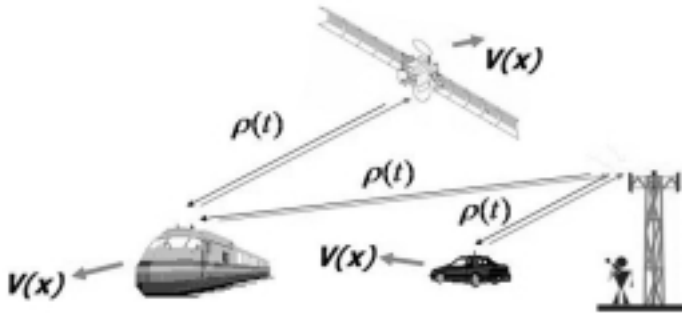
encontrarse en un entorno *Indoor*), las dos trayectorias se cancelarían en frecuencias correspondientes a múltiplos de 10 MHz. De esta forma, la señal de 1 MHz experimentaría aproximadamente una atenuación constante y el canal podría considerarse de banda angosta. Pero si el retardo de diferencia se incrementa a  $1 \mu\text{s}$  (como se encontraría en un entorno *Outdoor*), la amplitud del canal variaría significativamente a través del ancho de banda de la señal (cada 1 MHz) y éste sería un canal de banda ancha. La comparación entre estos dos casos se puede apreciar más claramente al analizar las funciones de transferencia del canal<sup>51</sup> presentadas en la Figura 7.

Existe una característica adicional en un sistema de comunicación móvil satelital que afecta los factores físicos del canal inalámbrico, la velocidad del satélite. En un ambiente sa-

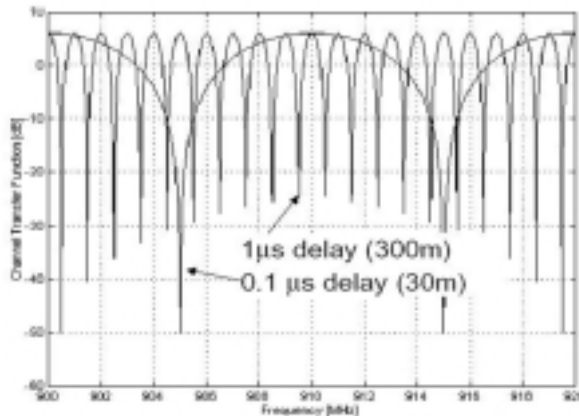


telital el fenómeno de desvanecimiento a pequeña escala se asocia al entorno local (sector cercano al receptor), como se aprecia en la Figura 5, y el cual es muy similar al caso de propagación presentado en un sistema móvil terrestre. La diferencia con este último radica en que tanto el receptor como el satélite pueden encontrarse en movimiento (i.e. sistemas

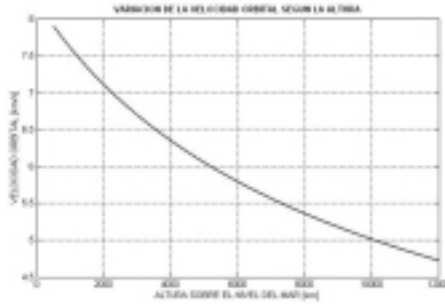
basados en órbitas LEO, MEO, HEO y sistemas HAP), lo que introduce un factor de complejidad debido a los diferentes ángulos de visibilidad entre el transmisor y el receptor,<sup>75</sup> y donde prima la velocidad del satélite, la cual puede oscilar en un rango aproximado de 8 a 4 km/s según la altura de su órbita,<sup>58</sup> tal como se aprecia en la Figura 8.



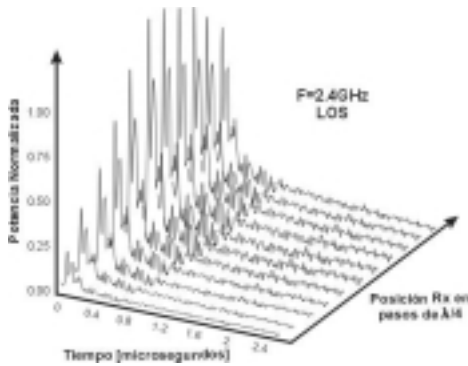
**Figura 6.** Ejemplos del efecto Doppler



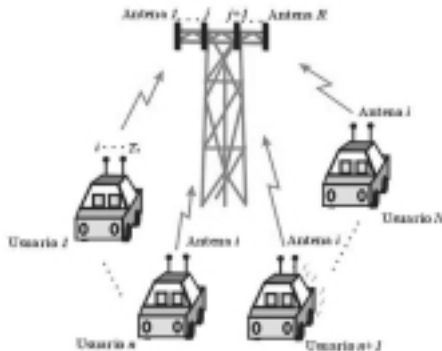
**Figura 7.** Función de Transferencia del canal con dos trayectorias de propagación: retardos relativos de  $1 \mu\text{s}$  y  $0.1 \mu\text{s}$ . Tomado de: Saunders, Simon R.. Antenas and propagation for wireless communication systems. West Sussex : John Wiley & Sons, 1999. p. 237.



**Figura 8.** Variación de la velocidad orbital en sistemas satelitales de mediana y baja altitud. Tomado de: García Ariza, Alexis Paolo, “Comunicaciones Satelitales, Ciclo IV-Cohorte IV”, Texto Guía para el curso de Comunicaciones Satelitales de la Especialización en Telecomunicaciones de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, UIS. Publicación impresa, Junio de 2004, p.15.



**Figura 9.** Respuesta al impulso de un canal multitrayectoria. Tomado de: García A., Alexis Paolo. Seminario de Comunicaciones Móviles. Diapositivas de clase. Universidad Industrial de Santander-E3T, Jul. 2004.



**Figura 10.** Sistema MIMO multiusuario en el cual todos los usuarios están equipados con arreglos de antenas para transmisión y recepción

### III. RESPUESTA AL IMPULSO DE UN CANAL MULTITRAYECTORIA Y EL MODELO MIMO

La respuesta al impulso es una caracterización de un canal de banda ancha y contiene toda la información necesaria para simular o analizar cualquier tipo de radio transmisión a través del canal. Esto hace posible que un canal inalámbrico de comunicación pueda ser modelado como un filtro lineal con una respuesta al impulso variante en el tiempo, donde la variación del tiempo es debida al movimiento del receptor.<sup>8, 35, 48, 51</sup> En la Figura 9 se puede apreciar la respuesta al impulso de un canal inalámbrico en una condición de línea de vista (LOS: *Line-Of-Sight*) para una frecuencia de 2.4 GHz, en intervalos para diferentes posiciones del receptor (resolución espacial de  $\lambda/4$ ). Es de resaltar que esta respuesta es altamente dependiente del tipo de entorno de propagación (*Outdoor*, *Indoor*, en túneles, zonas boscosas, sistemas satelitales, plataformas de alta altitud-*HAP*, etc.).

Al considerar sistemas multiusuario CDMA, ya sean satelitales o terrestres, y la aplicación de técnicas MIMO en estos sistemas, hay algunas características comunes de configuración de los enlaces y de las consideraciones de respuesta al impulso de los canales. En canales MIMO, si se representa un sistema multiusuario con  $N$  usuarios comunicándose con un receptor común (estación base o satélite), todos los usuarios y el receptor deben estar equipados con un arreglo de antenas para la transmisión y recepción; tal como se aprecia en la Figura 10. Para este esquema, el número de antenas transmisoras correspondiente a un usuario  $n$  será

$T_n$ , con  $n=1, \dots, N$ , y  $R$  indica el número de antenas receptoras en la radio base. Cada usuario transmite símbolos de información de duración  $\tau$ . Por otro lado, el canal entre una antena transmisora  $i$ , de un usuario  $n$ , y una antena receptora  $j$ , de la radio base, es caracterizado por la respuesta al impulso causal  $h_{ij}(t)^{(n)}$  de duración  $T_{ij}^{(n)}$ ; asumiendo estable el canal (invariante en el tiempo) sobre la duración  $\tau$  del símbolo. Así la señal transmitida  $x_i(t)^{(n)}$  desde una antena  $i$ , en un usuario  $n$ , es convolucionada con la respuesta al impulso del respectivo canal (para cada uno de los usuarios y antenas del arreglo utilizado tanto en transmisión y recepción) dando como resultado la señal correspondiente en recepción  $y_{ij}(t)^{(n)}$ , obtenida de la señal enviada desde el usuario  $n$  en su antena transmisora  $i$  y recibida en la antena  $j$  de la radio base. La expresión que describe este proceso se presenta en la ecuación (1).

$$y_{ij}(t)^{(n)} = x_i(t)^{(n)} \otimes h_{ij}(t)^{(n)} \quad (1)$$

La onda recibida en la antena  $j$  es entonces una superposición de todas las señales recibidas desde todas las antenas transmisoras de todos los usuarios más el ruido aditivo Gaussiano (canal MIMO):

$$\begin{aligned} r_j(t) &= \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{T_n} y_{ij}(t)^{(n)} + n_j(t) = \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{T_n} x_i(t)^{(n)} \otimes h_{ij}(t)^{(n)} + n_j(t) \end{aligned} \quad (2)$$

Si se utiliza la ecuación anterior para resolver el problema multitrayectoria MIMO, las matemáticas necesarias podrían llegar a ser demasiado complejas e incrementar su dificultad. El

uso de un *espacio* aproximado para representar las señales supera las dificultades asociadas con la ecuación (2) y permite trabajar con vectores de señal equivalentes y canales vector, utilizando además métodos algebraicos lineales más simples.<sup>1,76</sup>

En los canales representados en la Figura 10 no se ha considerado que las respuestas al impulso, que se han aproximado como lineales e invariantes en el tiempo, sean dependientes de la posición de los usuarios en el caso de que estos estén en movimiento. En dicha suposición, la respuesta al impulso se expresará como  $h_{ij}(d, t)^{(n)}$  y la señal recibida dependerá de la posición  $d$  del usuario. Por otro lado, si el usuario se mueve a una velocidad constante sobre un corto periodo o distancia se puede permitir que  $x_i(t)^{(n)}$  represente la señal banda de paso transmitida,  $y_{ij}(t)^{(n)}$  la señal recibida y  $h_{ij}(t, \tau)^{(n)}$  la respuesta al impulso del canal de radio multitrayectoria variante en el tiempo.<sup>48, 51</sup> La variable  $t$  representa las variaciones debido al movimiento, y  $\tau$  los retardos multitrayectoria del canal para un valor constante de  $t$ . Si se asume que el canal es limitado en una banda de paso, algo muy común en la práctica, entonces  $h_{ij}(t, \tau)^{(n)}$  puede ser descrito como una respuesta al impulso compleja de banda base con representaciones complejas de las señales transmitidas y recibidas (en la entrada y la salida del canal, respectivamente).

Actualmente, la solución a este problema del comportamiento dinámico en sistemas multiusuario MIMO hace parte de numerosas investiga-

ciones y es en esencia un fragmento de la propuesta de investigación planteada a la Comunidad Europea, abordada desde un punto de vista de procesamiento de señales espacio-temporales en sistemas multiusuario DS-CDMA,<sup>22</sup> lo que implica, además de una convivencia del sistema bajo interferencia co-canal, un control simultáneo de los problemas asociados a los efectos dinámicos.

#### IV. PARÁMETROS DEL CANAL MULTITRAYECTORIA

Los parámetros del canal multitrayectoria se derivan principalmente del perfil de retardo de potencia (PDP: *Power Delay Profile*), que se expresa como la potencia relativa en el receptor y es una función respecto a un tiempo de retardo fijo de referencia. Dichos perfiles son encontrados por medidas de promedio instantáneas sobre un área local para determinar un perfil promedio a pequeña escala, es decir, son un promedio temporal o espacial de medidas consecutivas de respuestas al impulso recolectadas (como las presentadas en la Figura 9) y promediadas sobre un área local, y que dependen de la resolución temporal del pulso de prueba y del canal multitrayectoria en estudio, obteniéndose un resultado como el apreciado en la Figura 11 para un sistema celular a 850MHz. En la práctica, se realizan múltiples medidas de esta clase sobre áreas locales en busca de establecer un rango estadístico de los parámetros de un canal multitrayectoria, para luego ser utilizados sobre áreas a *gran escala* en el diseño de sistemas de comunicaciones móviles (terrestres y satelitales). Matemáticamente el PDP se define como la variación de la potencia media del canal con retardo,

$$P(\tau) = \frac{E \left[ \left| h_{ij}(t, \tau)^{(n)} \right|^2 \right]}{2} \quad (3).$$

Usualmente la PDP es discreta en el tiempo, representando varios *taps* (o pulsos) individuales con potencias definidas ( $P_1, \dots, P_I$ ), como en la Figura 11, y los cuales pueden tener distribuciones de probabilidad independientes.<sup>51</sup>

Los principales parámetros de canales multitrayectoria son:

### A. Tiempo De Dispersión

**1) Excess delay (retardo excedente):** es el retardo de cualquier tap relativo al primer tap recibido.

**2) Total excess delay (retardo excedente total):** es la diferencia entre el primer y último tap. Es la cantidad en la cual la duración del símbolo es extendida por el canal.

**3) Mean delay (retardo medio):** es el “centro de gravedad” del perfil y es definido por

$$\tau_0 = \frac{1}{P_T} \sum_{i=1}^z P_i \tau_i \quad (4),$$

y donde la potencia total ( $P_T$ ) del canal es la suma de todas las potencias individuales de cada tap.

**4) RMS delay spread (dispersión de retardo RMS):** es el segundo momento, o dispersión, de los taps. Éste tiene en cuenta la potencia relativa de los taps como también sus retardos, haciéndolo el mejor indicador de desempeño del sistema. Se define por:

$$\tau_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{P_T} \sum_{i=1}^z P_i \tau_i^2 - \tau_0^2} \quad (5).$$

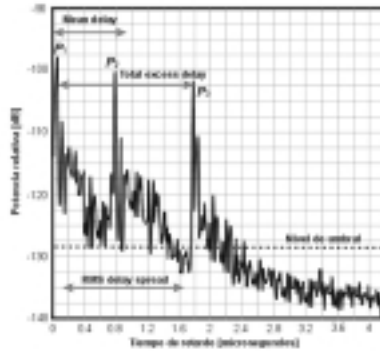
Además, es independiente del retardo medio y de la longitud del trayecto de propagación, definido únicamente por los retardos relativos. Es un buen indicador (no el único, pues sobreestima el efecto de los taps con retardos grandes y potencias reducidas) del desempeño de la tasa de error del sistema para un tiempo de dispersión moderado (dentro de un símbolo de duración, tal como se estableció en la sección anterior). Si el  $\tau_{RMS}$  es mucho menor que la duración del símbolo, no se presentará una ISI significativa, considerándose así que el canal es de banda angosta.

Otro parámetro del PDP encontrado en la literatura es el exceso máximo de retardo (*maximum excess delay o excess delay spread*) del perfil, y es definido como el tiempo durante el cual la energía de una multitrayectoria cae XdB por debajo del máximo recibido.<sup>48</sup> Tiempo medido desde el primer tap y que considera un nivel de umbral de potencia relativa preestablecido; que depende del piso de ruido multitrayectoria (diferente del ruido térmico asociado al equipo receptor) y del valor máximo medido de las componentes recibidas.

Por último, si se analiza la dispersión temporal para sistemas de amplia cobertura, como en macroceldas en sistemas móviles terrestres, se encontrará que su valor es bastante elevado, pero al considerar megaceldas en sistemas satelitales, debido al gran ángulo de elevación entre el usuario y el satélite hace que esta dispersión sea menor. En la Tabla 1 se pueden apreciar valores típicos de dispersión temporal  $\tau_{RMS}$  para distintos entornos de propagación. De ésta se destaca que en entornos montañosos se pre-

senta uno de los peores casos y tal vez el más crítico, asunto relevante para la región andina donde las principales ciudades se han construido rodeadas de colinas y sobre terreno irregular. Esta característica dispersiva en el tiempo afecta directamente la *tasa de transmisión de datos*, y que en comparación con un entorno satelital o Indoor, deberá ser menor si no se utilizan técnicas especiales para reducir la ISI. Esto será aún más complejo de controlar dado el nuevo concepto de movilidad planteado por UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), donde

los terminales de usuario deberán estar equipados con tecnología que permita su adaptación al entorno de propagación donde éste se encuentre. En relación con los valores mostrados en la Tabla 1 (rangos establecidos por entorno), se puede agregar que la frecuencia de la portadora es otra variable relacionada con la dispersión temporal  $\tau_{RMS}$  y que a medida que ésta se incrementa los valores de dispersión se reducen, una ventaja en los sistemas móviles 3G y 4G donde sus bandas de operación se han establecido por arriba de 1 GHz.<sup>32</sup>



**Figura 11.** Perfil de retardo de potencia para un canal de un sistema celular a 850MHz en un entorno urbano. Tomado de: García A., Alexis Paolo. Seminario de Comunicaciones Móviles. Diapositivas de clase. Universidad Industrial de Santander-E3T, Jul. 2004.

**Tabla 1.** Valores típicos de dispersión temporal RMS desde diferentes entornos.

Entorno	Dispersión temporal RMS, $\tau_{RMS}$ [ $\mu$ s]
Indoor	0.01-0.05
Móvil satelital	0.04-0.05
Área abierta	<0.2
Macrocelda suburbana	<1
Macrocelda urbana	1-3
Macrocelda en área <i>montañosa</i>	3-10

Tomado de: Saunders, Simon R.. Antennas and propagation for wireless communication systems. West Sussex: John Wiley & Sons, 1999. p. 243.

## B. Ancho De Banda Coherente

Esta es la versión en frecuencia (caracterización del canal usando su respuesta en frecuencia) análoga a la caracterización del canal en el dominio del tiempo representada en la PDP. Es una medida del rango de frecuencias sobre el cual el canal puede ser considerado plano, es decir, donde todas las componentes espectrales pasan con aproximadamente igual ganancia y fase lineal; esto conlleva a una gran correlación de amplitud. Si la función de correlación de frecuencia está sobre 0.9, se puede expresar el ancho de banda coherente como:

$$B_c \approx \frac{1}{50\tau_{RMS}} \quad (6);$$

donde  $\tau_{RMS}$  se obtiene de la ecuación (5). Si se suaviza y considera que la función de correlación sea de 0.5, entonces

$$B_c \approx \frac{1}{5\tau_{RMS}} \quad (7).$$

De las dos últimas ecuaciones hay que anotar que no existe una relación exacta entre el *ancho de banda coherente* y la *dispersión de retardo RMS*, y éstas son utilizadas como un estimativo de referencia. Debido a estos y otros inconvenientes, modelos específicos de canal multitraectoria de gran exactitud deben ser definidos para utilizarlos en el diseño y simulación de radio módems en sistemas inalámbricos satelitales y terrestres. En el caso que el ancho de banda del sistema sea mayor que el ancho de banda coherente se hace necesaria la aplicación de ecualizadores,<sup>51</sup> u otras alternativas utilizando codificación,

arreglos de antenas y actualmente técnicas MIMO.<sup>1</sup> En este sentido, el ancho de banda coherente será un factor determinante en la investigación al momento de simular el algoritmo de procesamiento espacio-temporal para entornos urbanos con topografía irregular.<sup>22</sup>

## C. Doppler Spread y Tiempo Coherente

El Doppler Spread ( $B_D$ ) es una medida del ensanchamiento del espectro de la señal causado por la tasa de tiempo de cambio en el canal de radio móvil, ya sea porque el receptor se acerca o se aleja del transmisor (aumentando o disminuyendo la frecuencia aparente recibida, respectivamente) en un área local; tal como se aprecia en la Figura 6. Es el rango de frecuencias donde el espectro Doppler recibido es esencialmente diferente de cero y depende de la velocidad relativa del usuario y del ángulo tendido entre la dirección del movimiento y la dirección de arribo de las ondas dispersas. El Doppler spread y el tiempo coherente son inversamente proporcionales<sup>48</sup> y se relacionan por

$$T_c \approx \frac{1}{f_m} \quad (8).$$

En la ecuación (8),  $f_m$  hace referencia al máximo desplazamiento Doppler experimentado; dado por  $f_m = v/\lambda$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la portadora y  $v$  la velocidad relativa del usuario. En consideraciones de diseño y simulación, si el ancho de banda de la señal de banda base es mucho más grande que  $B_D$ , los efectos del Doppler spread serán insignificantes en el receptor, lo que es una gran ven-

taja para los sistemas de espectro expandido como DS-CDMA. Por otro lado, al considerar el tiempo coherente representado en la ecuación (8) como una medida estadística de la duración temporal sobre la cual la respuesta al impulso del canal es esencialmente invariante, éste cuantificará la similitud de la respuesta del canal en diferentes tiempos, es decir, el tiempo de duración sobre el cual dos señales recibidas tienen alta correlación. Dado el caso, si el *recíproco del ancho de banda* de la señal de banda base es más grande que el *tiempo coherente*, el canal cambiará durante la transmisión de un mensaje de banda base, causando distorsión en el receptor.

El  $T_c$  al igual que el *ancho de banda coherente*, puede ser calculado para diferentes grados de correlación.<sup>48</sup> En sistemas digitales modernos se suele utilizar la media geométrica entre la ecuación (8) y la calculada para un grado de correlación de 0.5:

$$T_c = \sqrt{\frac{9}{16 \pi f_m^2}} = \frac{0.423}{f_m} \quad (9).$$

Haciendo uso de esta definición, si dos señales llegan al receptor con tiempos de separación más grandes que  $T_c$ , éstas serán afectadas de forma diferente por el canal por una cantidad casi el doble de restrictiva que la presentada por la ecuación (8). Por esta razón, a nivel de diseño y procesamiento de señales en comunicaciones móviles 3G y 4G, la velocidad del usuario (o la velocidad relativa usuario-satélite) y la frecuencia de la portadora, definen la cantidad de mues-

tras y los intervalos de muestreo espacial para obtener señales con alto nivel de correlación,<sup>77</sup> y de esta forma poder mitigar, en tiempo real, la distorsión de la señal; lo que está relacionado directamente con las diferentes tasas de transmisión de dichos sistemas en condiciones distintas de movilidad<sup>32</sup> (i.e. a altas, medianas y bajas velocidades).

## V. EFECTOS DE DESVANECIMIENTO DEBIDOS A DELAY SPREAD YA DOPPLER SPREAD

Se consideran dos grupos de clasificación correspondientes a desvanecimientos a pequeña escala basados en el fenómeno de *Delay Spread*, debido a multitrayectorias, y al fenómeno de *Doppler Spread*, debido a la velocidad relativa y a su efecto en presencia de múltiples trayectorias. Dentro de estos dos grupos están: el *Desvanecimiento Plano*, el *Desvanecimiento de Frecuencia Selectiva*, el *Fast Fading* y el *Slow Fading*. De ellos, los dos primeros corresponden al grupo relacionado con el *Delay Spread* y los dos últimos al del *Doppler Spread*. Es importante anotar que los parámetros de la señal (ancho de banda, periodo del símbolo, etc.) y del canal (así como el  $\tau_{RMS}$  y el  $T_c$ ) agrupan a las señales transmitidas bajo diferentes grupos y tipos de desvanecimiento.

### A. Flat fading o Desvanecimiento Plano

En este caso la estructura del canal es tal que las características del espectro de la señal transmitida son preservadas en el receptor. Sin embargo, la potencia de la señal recibida cambia con el tiempo debido a fluctuaciones en la ganancia del canal causadas por efectos multipath.



### B. Desvanecimiento de Frecuencia Selectiva

Aquí, si el canal posee una ganancia constante y una respuesta de fase lineal sobre un ancho de banda que es más pequeño que el ancho de banda de la señal transmitida, entonces creará desvanecimiento selectivo de frecuencia. Bajo estas condiciones la respuesta al impulso del canal tiene un *Delay Spread* multitrayectoria que es más grande que el recíproco del ancho de banda de la onda mensaje transmitida.

### C. Fast Fading

Aquí la respuesta al impulso del canal cambia rápidamente con la duración del símbolo, es decir que el tiempo de coherencia del canal es más pequeño que el período del símbolo de la señal transmitida. Esto causa dispersión de frecuencia (desvanecimiento selectivo en el tiempo) debido al *Doppler Spread*, induciendo distorsión en la señal.

### D. Slow fading

Con este esquema, la respuesta al impulso del canal cambia en una tasa mucho más baja que la de la señal de banda base transmitida. El canal se puede asumir como estático por uno o varios intervalos del recíproco del ancho de banda.

## VI. ESTADÍSTICA APLICADA PARA MODELAR EL DESVANECIMIENTO DEL CANAL

Debido a las características randómicas de los fenómenos descritos, es necesaria la aplicación de técnicas estadísticas para su modelado. En canales móviles, la *función de densidad de probabilidad* (p.d.f: *probabi-*

*lity density function*) *Rayleigh* (o distribución *Rayleigh*) es la más usada ya que describe la naturaleza estática de la variación temporal de la envolvente recibida de una señal en desvanecimiento plano, o la envolvente de una componente individual de multitrayectoria. En la Figura 12 se aprecia una función de densidad de probabilidad de estas características, la cual se establece para casos donde no existe línea de vista entre el usuario móvil y el transmisor (NLOS: *Non-Line-Of-Sight*).

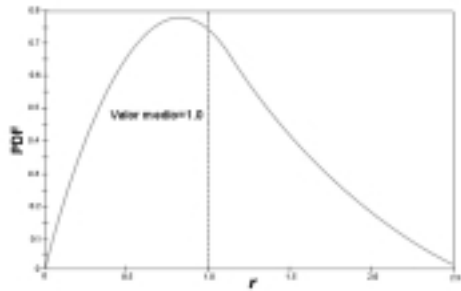


Figura 12. Función de Densidad de Probabilidad (PDF) tipo Rayleigh.

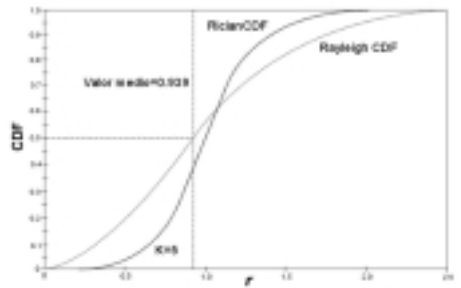


Figura 13. Comparación de la Función de Distribución Acumulativa (CDF) tipo Rayleigh y Rice.

Otra distribución utilizada en la *Rice*, y se usa para describir el desvanecimiento de la envolvente cuando hay una componente de señal

estacionaria dominante (rayo directo); como en el caso de una trayectoria por línea de vista o LOS. Aquí las componentes aleatorias de multitrayectoria que llegan en diferentes ángulos son superpuestas a una señal dominante. El efecto que se presenta en la salida del detector de envolvente en un sistema inalámbrico es la adición de una componente de *dc* a las multitrayectorias rándómicas. Una comparación entre las *Funciones de Distribución Acumulativa Rayleigh y Rice* se presenta en la Figura 13.

Para el análisis de sistemas MIMO, el conocimiento de las distribuciones de probabilidad de las componentes multitrayectoria es de vital importancia al realizar simulaciones en condiciones específicas de señal y canal, al igual que las consideraciones estadísticas de todos los fenómenos relacionados. Por lo general, la respuesta al impulso del canal (o canales múltiples) puede ser experimentada como un filtro receptor de ancho de banda finito; el cual podría no dar buenos resultados sobre la respuesta temporal. Por ello, se pueden tomar procesos dispersivos con retardos similares y sumarlos dentro de una ventana discreta; dado que la resolución del sistema no estará habilitada para distinguir entre el caso discreto y el continuo.<sup>51</sup> Con estas consideraciones, la amplitud de cada multitrayectoria variará como en el caso de un canal de banda angosta, con una tasa de desvanecimiento proporcional a la velocidad del usuario y a la frecuencia de la portadora, y podría aproximarse a una distribución Rayleigh o Rice utilizando *estadística de primer orden*.<sup>51</sup>

Desde un punto de vista más real y práctico, y que mejora el desempeño

de un sistema inalámbrico y la calidad de su señal, se puede abordar el problema haciendo uso de *estadísticas de segundo orden*,<sup>51, 67</sup> y así describir el desvanecimiento del canal de una forma más aproximada. La estadística de segundo orden está relacionada directamente con los efectos dinámicos en un sistema multiusuario (i.e. debido al efecto Doppler). En estos casos, el problema se centra en la distribución estadística de las *tasas de cambio de las señales* y no en la propia señal, considerándose los estados previos de las señales; es decir un sistema con memoria y con desvanecimiento correlacionado.

Por otro lado, la forma del espectro Doppler, asociado al Doppler Spread, afecta directamente la estadística de desvanecimiento de segundo orden,<sup>51</sup> haciéndose necesarios los modelos estadísticos que definen los ángulos de arribo de las múltiples trayectorias. En simulación, el *espectro Doppler clásico* (asociado a un modelo probabilístico uniforme de ángulos de arribo horizontal), es uno de los más utilizados para canales de radio móvil, pero no es adecuado en muchos casos donde el desplazamiento en cortas distancias está afectado por una gran dispersión en la propagación. Esta amplia dispersión de los ángulos de arribo altera la ganancia efectiva de la antena receptora de los usuarios móviles, de manera tal que es necesaria la inclusión de un valor de ángulo promedio en los cálculos típicos de mejor enlace; en busca de obtener una optimización en la planificación del sistema. Con modelos que incluyen ángulos de arribo dispersos en la dirección vertical se ha logrado reducir el promedio de la tasa de desvanecimiento.<sup>51</sup>

Debido a que el espectro Doppler es difícil de medir, se suelen usar otros parámetros que permiten una adquisición más sencilla. Estos son: la *tasa de cruce de nivel* (l.c.r.: *level-crossing rate*) y la *duración promedio de desvanecido* (a.f.d.: *average fade duration*);<sup>68</sup> los cuales se relacionan directamente con un espectro Doppler particular. Estos indican la ocurrencia de desvanecimientos, en el caso del l.c.r., y la duración de los mismos, en el caso del a.f.d., en relación con un nivel de referencia y una unidad de tiempo.<sup>51</sup> En la práctica, durante la ocurrencia de un desvanecimiento por condiciones dinámicas Doppler (desvanecimientos profundos y de corta duración) los sistemas digitales presentan una tasa de error de bit mayor,<sup>75</sup> por lo que se suele usar el intercalado de bits o *interleaving*, que en resumen es un cambio en el orden de los bits transmitidos por el canal. Esto ayuda a distribuir los espacios de pérdida de información uniformemente en el tiempo, permitiendo a las técnicas de corrección de errores y detección por códigos operar de forma más eficiente. Por otro lado, considerando las características de los códigos utilizados y el uso de estadística de segundo orden en el canal, el *interleaving* puede ser optimizado para dar un mejor desempeño a los sistemas móviles satelitales y terrestres bajo efectos de Doppler Spread en entornos multitrayectoria.<sup>67</sup>

En procesos randómicos en canales de banda angosta, la transformada inversa de Fourier de la densidad espectral de potencia viene a ser la *función de auto correlación*.<sup>77, 51</sup> Con ella se puede ver el efecto del Doppler Spread en el dominio del tiempo. Esta función expresa la correlación entre

una señal en un tiempo dado y su valor en algún tiempo de retardo  $\tau$ . Así, la función de autocorrelación normalizada para una señal compleja recibida con desvanecimiento  $y_{ij}(t)^{(n)}$ , desde un usuario determinado (según la Figura 10), se define por:

$$\rho(\tau) = \frac{E \left[ y_{ij}(t)^{(n)} y_{ij}^*(t+\tau)^{(n)} \right]}{E \left[ |y_{ij}(t)^{(n)}|^2 \right]} \quad (10).$$

Para el caso de un *espectro Doppler clásico* con desvanecimiento Rayleigh el resultado es<sup>51</sup>

$$\rho(\tau) = J_0(2\pi f_m \tau) \quad (11)$$

donde  $J_0$  es la función de Bessel de primera clase y orden cero. Bajo estas consideraciones se puede definir el tiempo coherente dado en la ecuación (8) si la función de autocorrelación normalizada permanece cercana a la unidad durante el tiempo analizado.

En canales prácticos de banda ancha, la *correlación entre componentes* de la función de transferencia del canal, con una separación en frecuencia  $\Delta f$ , y una separación en el tiempo  $\Delta t$ , está definida por

$$\rho(\Delta f, \Delta t) = \frac{E \left[ T(f, t) T^*(f + \Delta f, t + \Delta t) \right]}{\sqrt{E \left[ |T(f, t)|^2 \right] E \left[ |T(f + \Delta f, t + \Delta t)|^2 \right]}} \quad (12),$$

donde  $T(f, t)$  es la función de transferencia variante en el tiempo para un canal de banda ancha (una función no conocida por anticipado), y se define por la transformada de Fourier de la respuesta al impulso del canal

respecto a una variable de retardo  $\tau$ , tal como se precisó para la ecuación (3), de forma que

$$T(f, t) = F \left[ h_{ij}(t, \tau)^{(n)} \right] = T \int_{-\infty}^{\infty} h_{ij}(t, \tau)^{(n)} e^{j2\pi f \tau} d\tau \quad (13).$$

En el análisis estadístico de canales multitrayectoria de banda ancha, las anteriores consideraciones, y otras alternativas para el procesado de señales en condiciones randómicas como las funciones Bello,<sup>78</sup> siguen siendo una de las actividades de exploración de especial interés en el diseño de los sistemas móviles que hacen uso de arreglos de antenas,<sup>1</sup> y serán fundamentales al momento de poner a prueba los algoritmos diseñados durante la investigación.<sup>22</sup>

## VII. MODELOS ESTADÍSTICOS PARA CANALES MULTITRAYECTORIA

Los modelos estadísticos dan una representación explícita de la estadística del canal en términos de las distribuciones paramétricas que son una mezcla de componentes Rice, Rayleigh y Log-normal.<sup>51</sup> Estos modelos utilizan teoría estadística para derivar una forma analítica razonable de la distribución de la señal de banda estrecha que se desvanece, para después por medio de medidas encontrar los valores apropiados de los parámetros en la distribución.

A menudo es necesario *simular* o *emular* los canales móviles para el desarrollo de transceivers de prueba. Cualquier simulación debe ser consistente con el conocimiento de la estadística de primer y segundo orden del canal móvil. Una aproximación al realizar este trabajo se muestra en la Figura 14. Aquí, un generador de

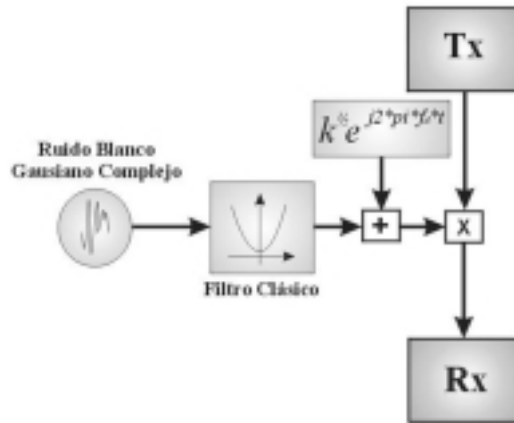
ruido blanco Gaussiano complejo, con potencia unitaria, se usa para representar las componentes en fase y cuadratura de la señal. Éstas son pasadas a través de un filtro, el cual es cuidadosamente diseñado para producir a su salida una aproximación del espectro Doppler clásico. La forma exacta del filtro no es crítica, ya que se utilizarían la *a.f.d* y *l.c.r* correctas para coincidir la varianza del espectro clásico con el deseado. Un fador de amplitud constante  $\sqrt{k}$ , donde  $k$  es el factor Rice deseado, se agrega para representar la parte coherente dominante del canal, y usualmente con un desplazamiento de frecuencia  $f_d$  diferente de cero, representando así el desplazamiento Doppler asociado con el trayecto LOS. El resultado final de este modelo de canal puede ser usado para multiplicarse con la señal de cualquier transmisor, ya sea en una simulación por computador o creando una implementación hardware del simulador en tiempo real para realizar emulaciones del ambiente móvil en condiciones de laboratorio con un equipo de radio móvil real.<sup>73</sup>

Para modelar canales móviles satelitales, la señal que se desvanece en banda estrecha se puede descomponer en dos partes, una parte coherente, generalmente asociada con la trayectoria directa entre el satélite y el móvil, y una parte difusa que se presenta debido a una gran cantidad de componentes multicamino.<sup>75</sup> La magnitud de la parte difusa se asume por lo general como una distribución de Rayleigh o una Rayleigh-Log-normal, y la coherente como Rice o Log-normal.

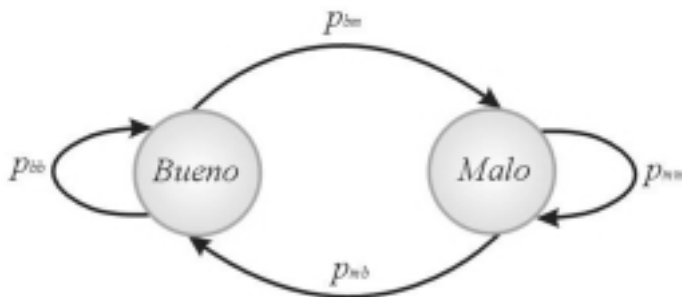
El modelo más simple es la distribución de Rice que asume que ambas com-

ponentes de la señal tienen como constante un nivel malo de energía. Se ha generalizado este modelo para explicar las condiciones que cambian rápidamente, asociadas a la atenuación y al sombreado en las dos componentes en un ambiente móvil. Si los parámetros de estos modelos para las diferentes

aplicaciones se eligen apropiadamente, pueden proporcionar un buen ajuste a las distribuciones. Los modelos de esta clase son: el de Loo,<sup>81</sup> el cual es sólo aplicable para condiciones de área rural, el modelo de Hwang,<sup>80</sup> que puede incluir los modelos de Rice, de Loo y de Corazza,<sup>79</sup> como casos especiales.



**Figura 14.** Esquema de simulación de un canal bajo desvanecimiento Rice



**Figura 15.** Modelo de Markov del estado del canal.

En relación con los servicios móviles satelitales (*MSS: Mobile Satellite Service*), los cuales se dividen en marítimos, aeronáuticos y terrestres (*LMS: Land Mobile Satellite Service*), el modelo de Loo<sup>81</sup> es aplicable para

casos terrestres en presencia de árboles a la orilla de las carreteras, y asume que la señal está compuesta por una componente LOS, con distribución log-normal (afectada por la atenuación ocasionada por los árbo-

les), más una componente multitrajectoria con distribución Rayleigh. Las expresiones para la *l.c.r* y *a.f.d* se pueden encontrar en la formulación del modelo,<sup>81</sup> donde se demuestra su dependencia con la correlación entre las dos componentes (coherente y difusa), y que cuando es pequeña se obtiene un valor grande de *l.c.r*.

El modelo de Corazza,<sup>79</sup> también aplicado para sistemas LMS, puede verse como un desarrollo de la aproximación de Loo, donde las dos componentes (directa y multitrajectoria) son afectadas por un sombreado de distribución log-normal. De esta forma, escogiendo los *parámetros* correctos de las distribuciones se pueden modelar un amplio rango de ambientes de propagación (en relación con la movilidad y el entorno), y sí se realizan mediciones en campo se pueden extraer las formulaciones empíricas necesarias para el cálculo de estos *parámetros*.<sup>73</sup> De estas formulaciones, se ha encontrado una dependencia directa con el ángulo de elevación entre el usuario y el satélite.

Un modelo de amplia aplicación en sistemas LMS, para entornos urbanos y suburbanos, es el modelo de Lutz,<sup>83, 75</sup> donde la estadística de LOS y NLOS se modela por medio de dos estados distintos. Esto lo hace especialmente apropiado para estos casos de entorno donde existe una gran diferencia entre la estadística en presencia de sombreado y en los casos en que no existe. Los *parámetros* asociados con cada estado y las probabilidades de transición entre cada uno se determinan de forma empírica. Este modelo puede ser generalizado para otros estados y permitir representaciones de transición suaves en-

tre las condiciones LOS y NLOS o caracterizar una propagación de múltiples satélites.<sup>64, 82</sup> Como ejemplo podría pensarse en un modelo aproximado de tres estados, con las condiciones de NLOS debido a edificios, sombreado por árboles y LOS. La condición LOS podría representarse como un estado “bueno” y la condición de NLOS como un estado “malo”, con una distribución Rice en “bueno” y una Rayleigh en “malo” y con *parámetros* variables en “malo” que permiten modelar la variación de los efectos del sombreado en una situación NLOS. Las transiciones entre estados pueden representarse en este caso por una cadena de Markov de primer orden,<sup>82</sup> donde la transición de un estado al otro depende sólo del estado actual, en lugar de datos históricos distantes. La representación de los tres estados y de las probabilidades de transición entre ellos se muestra en la Figura 15.

El modelado de canales de banda ancha en satélites no se ha analizado hasta el momento, en relación con que el *tiempo de dispersión* que experimentan es menor en comparación con la mayoría de los sistemas terrestres; tal como se exponía en la Tabla 1. Esto permite que el canal se comporte como de banda angosta para los sistemas de satélites de primera generación, pero no lo será en los sistemas multimedia de banda ancha actual y en los del futuro,<sup>74, 76</sup> lo que será relevante en el diseño de sistemas MIMO basados en satélites de mediana y baja altitud que hacen uso de esquemas de acceso múltiple CDMA.<sup>76</sup>

En sistemas satelitales, al igual que en sistemas móviles terrestres, se

han planteado modelos *estadísticos-físicos*<sup>69, 70, 85</sup> que representan una mejor aproximación. Estos determinan las distribuciones de desvanecimiento directamente de las distribuciones de los parámetros físicos usando teoría electromagnética simple.

Como complemento, se pueden mencionar varios trabajos relacionados con el desempeño de los sistemas LMS y el uso de modelos estadísticos de canal. Siguiendo las postulaciones de Corazza, Kang<sup>65</sup> realiza un análisis de BER para una modulación BPSK, determinando los parámetros del canal de forma empírica y midiendo el desempeño del sistema en diferentes entornos. Xie<sup>66</sup> plantea un modelo general de canal usando teorías de dispersión de la propagación, el cual presenta mejores resultados que modelos anteriores usando datos experimentales. Fontan<sup>72</sup> presenta los principios de diseño e implementación de un modelo de banda ancha para varias bandas de frecuencia y aplicable para servicios de comunicaciones, difusión, navegación y otros, que hacen uso de satélites LEO y no geoestacionarios. Briso<sup>73</sup> presenta un modelo diseñado con base en medidas obtenidas de la constelación GPS (*Global Positioning System*) y el cual es utilizado en un sistema de emulación que permite cambiar los parámetros del canal para analizar el desempeño del sistema en entornos urbanos, rurales, semiurbanos y por carretera con diferentes condiciones de ángulos de elevación. Abdi<sup>67</sup> presenta un modelo que hace uso de estadísticas de primer y segundo orden, el cual permite ser aplicado a canales de banda ancha y banda angosta usando una distribución de Nakagami para modelar la componente LOS,

en sistemas con diferentes modulaciones (con o sin diversidad), con una carga computacional más baja que las implementaciones con el modelo Loo y con similares resultados de desempeño. Patzold<sup>68</sup> presenta un modelo para canales no selectivos en frecuencia y con espectro Doppler asimétrico, utilizando un proceso de optimización numérica para calcular los parámetros del canal a partir de la *p.d.f.*, la *l.c.r* y *a.d.f.* Dovis<sup>71</sup> presenta un modelo de canal para los futuros sistemas HAP (sistemas basados en aeronaves o globos estáticos que se colocarán entre 17 y 30 km de altura para proveer servicios personales y de banda ancha a un menor costo de operación y mantenimiento) lo que implica el análisis de un nuevo entorno de propagación. Finalmente, Restrepo<sup>64</sup> hace un análisis de desempeño y de calidad del servicio para sistemas con canales con diversidad, y aplica una aproximación a la cadena Markov para obtener el modelo tráfico con handover garantizado en sistemas móviles satelitales que utilizan esquemas de reuso de celdas fijas con múltiples satélites.

En sistemas terrestres, el primer modelo presentado por Ossana<sup>48</sup> se basó en la interferencia de ondas incidentes y reflejadas de los lados planos de edificios ubicados aleatoriamente. Aunque este modelo predice el espectro de potencia de desvanecimiento plano, que fue acordado con medidas en áreas suburbanas, asume la existencia de una trayectoria directa entre el transmisor y el receptor, y es limitado para un rango de ángulos de reflexión. El modelo es algo inflexible e inapropiado para áreas urbanas donde la trayectoria directa es casi siempre bloqueada por edificios u

otros obstáculos (caso contrario a los sistemas satelitales).

Por otro lado, Clarke desarrolló un modelo donde las características estáticas de los campos electromagnéticos de la señal recibida en el móvil son deducidas de la dispersión.<sup>48</sup> Asume un transmisor fijo con la antena polarizada verticalmente, y el campo incidente sobre la antena del móvil lo componen y ondas planas azimutales con fases de portadora arbitrarias, ángulos azimutales arbitrarios de llegada y de igual promedio en amplitud; lo último se asume basado en el hecho de ausencia de trayectoria de línea de vista, y en que las componentes dispersas que llegan al receptor experimentan atenuaciones similares sobre distancias a pequeña escala.

Clarke y Gans propusieron uno de los modelos más usados en hardware y software.<sup>48</sup> Este modelo usa el concepto de modulación en fase y cuadratura de las trayectorias para producir una señal simulada con características espectrales y temporales muy próximas a los datos medidos.

En sistemas Indoor, Saleh y Valenzuela<sup>48</sup> para el desarrollo de su modelo realizaron mediciones entre dos antenas omnidireccionales polarizadas verticalmente, localizadas en el mismo piso de un edificio mediano. Usaron pulsos de radar a 1.5 GHz de 10 ns de duración para promediar las mediciones de la respuesta al pulso mientras se barría la frecuencia del pulso transmitido.

Rappaport y Seidel<sup>48</sup> desarrollaron un modelo empírico-estadístico basado en la respuesta al impulso discreto de un canal, e implementaron el SIR-CIM (*Simulation of Indoor Radio*

*Channel Impulse-response Models*) que genera muestras realistas de la respuesta al impulso de un canal *Indoor* a pequeña escala. Posteriormente se desarrolló SMRCIM (*Simulation of Mobile Radio Channel Impulse-response Models*), un programa similar que genera respuestas al impulso en un canal celular y microcelular urbano a pequeña escala.

Recientemente, en sistemas Indoor se ha dado importancia al modelado de canales considerando el efecto de los peatones y del cuerpo del usuario. Castro<sup>84</sup> hace un análisis del efecto del cuerpo sobre la característica del canal para dos casos diferentes de entornos Indoor, donde demostró una gran dependencia de las medidas de área local en correspondencia al sombreado causado por el cuerpo (efectos de 5,4 a 3.8 dB) y su directa relación con la componente LOS, considerando además la *l.c.r* y la *a.f.d*; todo esto, haciendo uso de medidas a 5.2 GHz y simulaciones con una herramienta de predicción 3D para el trazado de rayos. Por otro lado, Rudd<sup>85</sup> propone un modelo de canal de banda ancha Indoor siguiendo una aproximación estadístico-física utilizada en modelamiento acústico, y que brinda ventajas adicionales frente a otras alternativas que requieren un elevado conocimiento de las características físicas de los edificios, que deben incorporarse dentro de las herramientas de planificación, y que por lo general consumen mayor tiempo de cómputo.

En el modelado de canales MIMO para entornos Outdoor, se han realizado recientes aportes que serán relevantes en el desarrollo de la investigación sobre estos sistemas,<sup>62</sup> y el tener en cuenta algunas consideracio-



nes sobre topografía irregular ayudará a cumplir con los objetivos propuestos.<sup>22</sup> En este sentido, Unar<sup>86</sup> presenta la caracterización de un modelo de canal de banda ancha para un área suburbana (común en ciudades latinoamericanas) por medio de la realización de medidas a 2.38 GHz.

### VIII. "MIMO CHANNELS" EN SISTEMAS DS-CDMA: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

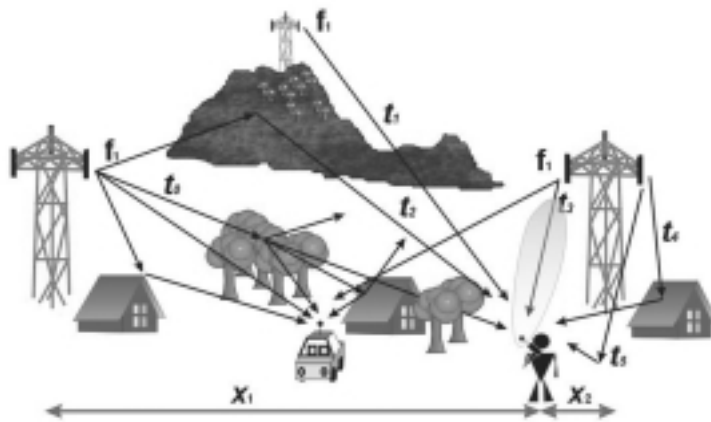
Después de haber iniciado un proceso de investigación en el área de radio-propagación en sistemas celulares sobre terreno irregular y consideraciones sobre la exposición a campos electromagnéticos,<sup>23, 24, 25, 26, 27</sup> desarrollando acuerdos de cooperación con la Universidad Politécnica de Valencia y el COST273<sup>23</sup> (*Commission of the European Communities and COST Telecommunications, COST273: "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks"* - Cooperación Europea en el Campo de la Investigación Científica y Tecnológica-EURO-COST), se espera, con la propuesta planteada ante la Comunidad Europea<sup>22</sup> dar continuidad a esta línea de investigación, orientándose al aprovechamiento de la propagación multitrayecto por parte de los sistemas de procesamiento de señal en canales inalámbricos de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas (MIMO), para los sistemas de comunicación de banda ancha del futuro que hacen uso de arreglos de antenas y que se usarán sobre terreno irregular.

Como se ha tratado a lo largo del paper, los entornos presentados en sistemas de comunicación terrestre y satelitales, ya sean *Indoor* u *Outdoor*, en áreas urbanas homogéneas, rurales, o urbanas no homogéneas afectadas por colinas, presentan en general

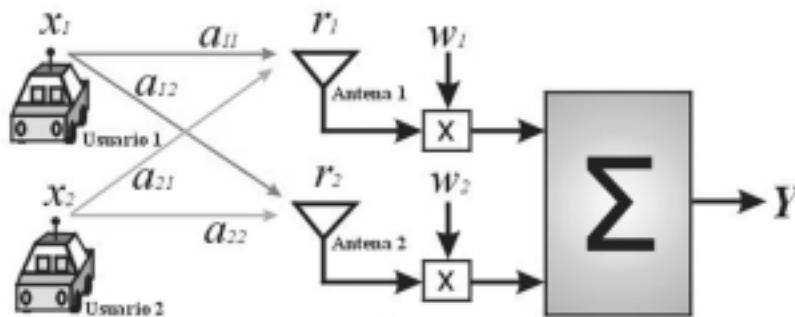
el efecto de generación de múltiples trayectorias en un canal común de comunicación (MIMO Channel), donde debido a diferentes mecanismos de propagación (reflexión, difracción y dispersión principalmente) se transmiten y reciben varias señales en una misma comunicación en diferentes direcciones y con tiempos distintos de llegada;<sup>8,14,51</sup> tal como se aprecia en la Figura 16. El efecto de múltiples trayectorias, se presenta en grados diferentes en cada uno de estos entornos, siendo particularmente predominante a nivel temporal en casos de terreno irregular.<sup>29</sup>

Muchas técnicas se han desarrollado para el control del desvanecimiento por múltiples trayectorias y cancelación de la interferencia co-canal haciendo uso de arreglos de antenas,<sup>1, 4, 9, 10, 12, 20, 29, 30, 31, 39, 40, 58, 60</sup> y arreglos virtuales<sup>17</sup> (asociados al concepto de cooperatividad de los usuarios móviles), pero el *control conjunto* de estos dos efectos se hace bastante complicado en casos donde la señal deseada y la interferencia de múltiples usuarios son transmitidas sobre diferentes entornos generadores de multipath.

MIMO Channels es actualmente un importante tema de estudio debido a sus potencialidades en el manejo de grandes cantidades de información para los servicios multimedia del futuro.<sup>9, 11, 19, 28, 50, 52</sup> Dentro de las políticas de investigación europeas ha sido<sup>15</sup> y es de interés para el COST como lo demuestran algunas de las investigaciones realizadas<sup>17, 18, 33, 36, 47, 52, 61</sup> en el camino y establecimiento de los lineamientos para el desarrollo final de los sistemas móviles multimedia de comunicación de banda ancha.



**Figura 16.** Entorno MIMO Andino.



**Figura 17.** Sistema de conformación de haz para el control de interferencia.

En el contexto MIMO, la propagación multicamino, en lugar de tomarse como un problema, presenta grandes ventajas al utilizarse en un arreglo de antenas,<sup>61</sup> y en especial en WCDMA para 3G donde la interferencia de acceso múltiple debido a la dispersión y multitrayectoria presenta desventajas significativas. Explotando la decorrelación de señales transmitidas en un nivel elevado de dispersión se puede llegar a

incrementar la capacidad de los sistemas,<sup>9</sup> ya sea en el canal de subida (uplink) o en el canal de bajada (downlink). Además, el control de los efectos de la interferencia, en el desempeño de sistemas basados en arreglos de antenas es particularmente atractivo, más aún aplicando técnicas de *beamforming* o *conformación de haz*,<sup>9, 12, 30, 39, 40</sup> que permiten el aumento de la capacidad del canal de comunicación.

Estas técnicas utilizan arreglos fasoriales de antenas para la conformación de haces directivos adaptativos que mitigan la interferencia de señales provenientes de móviles no deseados,<sup>1, 51</sup> tal como se aprecia en la Figura 17, donde cada uno de los usuarios actúa como interferente del otro. Si el sistema adaptativo de recepción es capaz de calcular los valores  $a_j$  que modelan la característica de los canales, entonces se podrán calcular los pesos  $w_j$  adecuados para que el sistema atenúe la señal interferente  $x_r$  y así la salida  $Y$  se acerque lo máximo posible a la señal deseada  $x_r$ . En esta técnica el cálculo de los pesos  $w_j$  está directamente relacionado con el mejoramiento de la Relación Señal-Interferencia-Ruido (SINR: *Signal to Interference and Noise Ratio*).

En el auge y demanda de altas tasas de transmisión para los actuales sistemas 3G y el futuro 4G<sup>2, 28</sup> la implementación de tecnología MIMO puede presentar una ganancia significativa en la capacidad de Shannon de un canal.<sup>33</sup> La capacidad de sistemas MIMO con 10 antenas puede alcanzar tanto en transmisión como en recepción aproximadamente 25bits/s/Hz para 10dB de SNR (Relación Señal a Ruido-*SNR: Signal to Noise Ratio*) en comparación con los 3bits/s/Hz para sistemas SISO (Sistemas de Entrada Simple y Salida Simple).<sup>17</sup>

Mediciones,<sup>33, 36, 54</sup> equipos de prueba<sup>9, 41</sup> y simuladores,<sup>13</sup> para el estudio de sistemas MIMO han sido desarrollados e implementados y se encuentran en etapas de consolidación. Ya se ha avanzado desde hace varios años en el modelado de canales multitrayectoria<sup>18, 55, 62</sup> y en la mitigación de sus efectos en los sistemas de comunica-

ción<sup>56</sup> en diferentes consideraciones, hasta el punto de lograr un buen desempeño en su estimación utilizando algoritmos computacionales y comprobando su utilidad mediante simulaciones y mediciones haciendo uso de arreglos de antenas.<sup>47</sup>

El concepto MIMO se ha aplicado en el desarrollo de los sistemas de comunicación de tercera generación<sup>34, 46</sup> donde el *beamforming* mejora el desempeño de los canales de subida y bajada, en comparación con las ventajas de los esquemas de diversidad utilizados independientemente en cada enlace. En proyectos de gran envergadura se han analizado sus beneficios en los modos FDD (*Frequency Division Duplex*) y TDD (*Time Division Duplex*) de UTRA (*Universal Terrestrial Radio Access*).<sup>19</sup> En este sentido, el entorno, la *carga de señalización en el sistema* y la tecnología disponible definen las técnicas de *beamforming* más efectivas a ser aplicadas. En casos particulares, como en los sistemas basados en WCDMA, la aplicación de arreglos de antenas también juega un papel importante en la mejora del desempeño del canal de subida.<sup>32</sup>

La investigación y explotación de los canales MIMO había sido propuesta como de amplio interés hace ya algunos años.<sup>29, 51</sup> Hasta el momento se han realizado estudios desde diferentes esquemas de acceso, modulación y entornos de propagación, como en el caso de entornos urbanos,<sup>42, 54</sup> en túneles,<sup>36</sup> o sistemas basados en satélites.<sup>76</sup> En el caso de túneles, utilizando diferentes técnicas,<sup>3, 20, 31</sup> se logró comprobar la influencia del cambio de la sección transversal de los túneles en la capacidad del canal

cuando se tiene un arreglo de antenas sobre un tren en movimiento.

En técnicas de espectro expandido, hay características relevantes en el procesado y utilización de canales MIMO en DS-CDMA<sup>9, 39, 40, 59, 60</sup> que pueden ser explotadas. Estos sistemas permiten la eliminación de la necesidad de *estimación de parámetros del canal*, de los largos *periodos de entrenamiento*, del conocimiento previo de la *geometría del arreglo de antenas* y de la información del *trayecto de propagación*.<sup>9</sup> Características particulares se han destacado tanto en uplink como en downlink.<sup>53, 61</sup>

Es importante resaltar que el procesado digital de señales extiende el *beamforming* a entornos donde el usuario y la localización de la interferencia *no son conocidas con anterioridad*, tal como ocurre en sistemas móviles, y el uso de procesado espacio-temporal (*space-time processing*) explota la transmisión paralela de canales creada por la dispersión en la propagación. Se han planteado diferentes técnicas de procesado que mitigan alguno de los fenómenos (*interferencia co-canal* y *desvanecimiento*) de forma independiente o conjunta.<sup>4, 5, 6, 9, 10, 20, 29, 30, 31, 59, 60</sup> Técnicas recientemente aplicadas muestran gran desempeño en el canal de baja-*banda* considerando las capacidades de procesado habilitadas en los equipos móviles y siguiendo procedimientos similares a los utilizados en los canales de subida,<sup>12</sup> lo que conlleva a la creación de sistemas de alta capacidad *duplex*. Por otro lado, es especialmente conveniente en esta área de investigación la utilización de técnicas de procesado basadas en

*wavelets* para sistemas DS-CDMA que trabajan en condiciones *Outdoor*.<sup>40</sup>

En resumen, el trabajo planteado a la Comunidad Europea<sup>22</sup> se orienta a la puesta en práctica de los métodos modernos de simulación y medición para el estudio de algoritmos de procesado conjunto de señales tomadas de un arreglo de antenas (como el presentado en la Figura 10) teniendo en cuenta consideraciones espacio-temporales (como las explicadas a lo largo del paper), para establecer así su desempeño en la mitigación de la interferencia co-canal y del fenómeno multicamino en canales MIMO en entornos urbanos afectados por colinas (como es el caso de las ciudades de la región Andina). Todo esto desde un esquema DS-CDMA de banda ancha, considerando: diferentes técnicas de procesado empleadas hasta el momento, número de entradas al sistema, la eficiencia espectral y BER (tasa de error de bit) obtenida, niveles de SNR, SINR y  $E_b/N_0$  (relación de la energía del bit a la densidad espectral de potencia del ruido), y promoviendo la generación de nuevas técnicas para dicho fin.

## IX. CONCLUSIONES

El estudio de los efectos a pequeña escala en sistemas inalámbricos terrestres y satelitales ha alcanzado un grado de madurez bastante elevado y la bibliografía disponible es precisa y abundante al respecto. El desarrollo de modelos apropiados para estos sistemas y canales inalámbricos en diferentes entornos, como túneles, edificios, zonas boscosas y terreno irregular, en banda ancha y banda

angosta, permitirán la mejora de las actuales interfaces aire, incrementando su capacidad y la calidad del servicio ofrecido a los usuarios. La aplicación de los conceptos de desvanecimiento a pequeña escala junto con el desarrollo de sistemas basados en arreglos de antenas, como el caso de sistemas MIMO, y la aplicación de técnicas de conformación de haz para el control de la interferencia co-canal, presentan una de las principales perspectivas de desarrollo futuro de sistemas inalámbricos de alta capacidad.

Aquí se ha verificado que el perfeccionamiento de una solución en sistema MIMO está atada a las características particulares de cada sistema y del entorno de propagación. En dicha línea, el procesado espacio-temporal cobra importancia dadas las particularidades dinámicas de los entornos y la movilidad de los usuarios que generan canales MIMO. En condiciones como esta, también se hace necesaria la aplicación de estadísticas de primer y segundo orden, y en caso particular, la inclusión de parámetros de un canal andino de banda ancha, al momento de simular el canal MIMO, con el fin de determinar el desempeño del algoritmo de procesado espacio-temporal.<sup>22</sup> Además, se pudo constatar que el tiempo coherente presentado en sistemas afectado por colinas y terreno irregular es uno de los mayores en sistemas terrestres, lo que también representa un punto neurálgico en el diseño de los sistemas MIMO en un esquema UMTS, pues el tiempo coherente para megaceldas satelitales y sistemas Indoor es bajo. Se encontró como ventaja de las solucio-

nes desarrolladas para sistemas 3G y 4G la frecuencia de operación, pues dadas sus elevadas posiciones dentro del espectro radioeléctrico, se tiende a minimizar el tiempo coherente. Otra ventaja de estos sistemas de banda ancha, es la creciente y casi unificada tendencia a su desarrollo sobre tecnologías de espectro expandido como CDMA, lo que garantiza un mejor comportamiento sobre canales multitrayectoria en consideraciones de *tiempos de dispersión* y *tiempos coherentes*, además de las ventajas específicas de DS-CDMA en cuanto a la reducción en la estimación de parámetros del canal y de la geometría de los arreglos de antenas en sistemas MIMO.

Según lo anterior, se ha planteado ante la Comunidad Europea una alternativa atractiva, concreta y bien sustentada para el análisis, desarrollo y verificación de un algoritmo de procesado de señales espacio-temporales en canales MIMO, que cumplirá con la función de reducción del efecto multitrayectoria e interferencia co-canal de forma conjunta en sistemas de comunicación de cuarta generación basados en DS-CDMA, que se desempeñaran en condiciones urbanas no homogéneas y terreno irregular; como es el caso de las principales ciudades de la región Andina. Además, se verificó que no se han realizado estudios en tratamiento de señales en canales MIMO afectados por entornos urbanos en presencia de colinas, y donde se aportará un avance significativo al generar I&D en la problemática, divisoando además, perspectivas de aplicación real en equipos móviles que funcionen en estas condiciones.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Vaughan, Rodney and BACH Andersen, Jorgen. Channels, Propagation and Antennas for Mobile Communications. The Institution of Electrical Engineers-IEE, Electromagnetic Waves Series 50, UK, 2003. p. 629-678.
- [2]. Adachi, F.. Challenges For Broadband Mobile Technology. En : Twelfth International conference on antennas and propagation (ICAP 2003), University of Exeter, (2003 : Exeter-UK); P. 1-4.
- [3]. Alamouti, S. M.. A simple transmit diversity technique for wireless communications. En : IEEE J. on Selected Areas in Com., Vol. 16, No.8, (oct. 1998); p 1451-1458.
- [4]. Anand, K., Mathew, G. and Reddy, V. U.. Blind separation of multipath co-channel BPSK signals arriving in at an antenna array. En : IEEE Signal Processing Lett., Vol. 2, pp. 176-178, 1995.
- [5]. Balaban, P. and SALZ, J.. Optimum diversity combining and equalization in digital data transmission with application to cellular mobile radio—Part I: Theoretical considerations. En : IEEE Trans. Commun., Vol. 40, pp. 885-894, 1992.
- [6]. Balaban, P. and SALZ, J.. Optimum diversity combining and equalization in digital data transmission with application to cellular mobile radio— Part II: Numerical results. En : IEEE Trans. Commun., Vol. 40, pp. 895-907, 1992.
- [7]. Barrett, M. and Arnott, R.. Adaptive antennas for mobile communications. En : Electron. Commun. Eng. J., Vol. 6, pp. 203-214, 1994.
- [8]. Bertoni, Henry L. Radio propagation for modern wireless systems. New Jersey : Prentice Hall PTR, 2000. p. 107-215.
- [9]. Blostein, S. D. and Leib, H.. Multiple Antenna Systems: Their Role and Impact in Future Wireless Access. En : IEEE Communications Magazine. (jul. 2003); p. 94-101.
- [10]. Burr, A. G.. Capacity of MIMO systems in the presence of interference. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and COST Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Barcelona). 9 p. TD-(03)031.
- [11]. Chizhik, D. et al. Keyholes, Correlations, and Capacities of Multielement Transmit and Receive Antennas. En : IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 1, (abr. 2002); p. 361-368.
- [12]. Choi, R. L-U. and Murch R. D.. New Transmit Schemes and Simplified Receivers for MIMO Wireless Communication Systems. IEEE Transactions on Wire-

- less Communications, Vol. 2, No. 6, (nov. 2003); p. 1217-1230.
- [13]. Conrat, J.M. and Pajusco, P. A Versatile Propagation Channel Simulator for Mimo Link Level Simulation. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Paris). 10 p. TD-(03)120.
- [14]. Cost 231 Subgroup on Propagation Models. Urban propagation models for macro-cell, small-cell and micro-cell. En : Cost273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications (1990). TD(90)119.
- [15]. Cost 231 final report. Digital Mobil Radio: COST 231 View on the Evolution Towards 3rd Generations Systems. En : Commission of the European Communities and Cost Telecommunications (1999 : Brussels).
- [16]. Derryberry, R. T. et al. Transmit Diversity in 3G CDMA Systems. En : IEEE Commun. Mag., Vol. 40, (abr. 2002); p. 68-75.
- [17]. Dohler, M. and Aghvami, H.. A step towards Mimo: Virtual Antenna Arrays. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Barcelona). 10 p. TD-(03)039.
- [18]. Eggers, P. C.F.. Dual directional channel formalisms and descriptions relevant for Tx-Rx diversity and MIMO. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Barcelona). 19 p. TD-(03)044.
- [19]. Fonollosa, J. R.. The IST Metra Project. IEEE Communications Magazine, (jul. 2002); p. 78-86.
- [20]. Foschini, G. J., Layered Space-time Architecture for Wireless Communication. En : Bell Labs Tech. J. Vol. 1, (Autumn 1996); p. 41-59.
- [21]. Foschini, G.J., and GANS, M.J.. On Limits of Wireless communications in a Fading Environment When Using Multiple Antennas. En : Wireless Personal Communications, Vol. 6, No.3 (mar. 1998), p.311-315.
- [22]. Garcia, Paolo, Rubio A., Lorenzo and Ortega B., Homero. Space-Time Processing for Mimo Channels in Fourth Generation DS-CDMA Systems Over Urban Environments With Irregular Terrain, Universidad Industrial de Santander – Universidad Politécnica de Valencia, Programa AlBan, 2004.
- [23]. García, A. P., Ortega, H., Navarro, A. and Cardona, N.. Effect of Terrain on Electromagnetic Propagation in Urban Environments on the Andean Region. En

- : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Paris). 11 p. TD-(03)065.
- [24]. García, A. P., Ortega, H., Navarro, A. and Rodríguez, H.. Effect of Terrain on Electromagnetic Propagation in Urban Environments on the Andean Region, Using the Cost 231- Walfisch-Ikegami Model and GIS Planning Tools. En : Twelfth International Conference on Antennas and Propagation (ICAP 2003), University of Exeter, (2003 : Exeter-UK). 6 p. ISBN 0 85296 752 7, ISSN 0537-9989.
- [25]. García Ariza, Alexis Paolo; Ortega Boada, Homero; Gallo Salcedo, Fideligna y Prieto G., Martha Isabel. Análisis de Irradiación Electromagnética en las Inmediaciones de una Radio Base Sectorizada Bajo Condiciones Andinas. Primer Congreso de Ingenierías de Sistemas y Electrónica, Universitaria de Investigación y Desarrollo -UDI, Bucaramanga, Colombia, 27-30 de Octubre 2004, TE2022.
- [26]. García A., A. Paolo y Bautista P., Ramiro. Factores que afectan la planificación de sistemas móviles en los entornos actuales y herramientas GIS como alternativa de un futuro inalámbrico. En : Seminario Convergencia: El Nuevo Escenario De Las Telecomunicaciones (2002 : Bucaramanga). Memorias Seminario Convergencia: El Nuevo Escenario de las Telecomunicaciones. 13 p. ISBN 958-33-3292-5.
- [27]. García, A. P., Ortega, H., Navarro, A. y Rodríguez, H.. Efectos del Terreno en la propagación Electromagnética en Entornos Urbanos Sobre la Región Andina, Usando el Modelo Cost 231-Walfisch-Ikegami y Herramientas de Planificación Basadas en GIS. En : Revista de la Facultad de Ingeniería "Sistemas y Telemática", Universidad ICE-SI. Vol. 1, No.1 (Ene. 2003); p. 13-33. ISSN 1692-5238.
- [28]. Giuliano, R., Mazzenga, F. and Vatalaro, F.. Smart Cell Sectorization for Third Generation CDMA Systems. En : Wireless Communications and Mobile Computing Journal, Vol.2, No.3, (may. 2002); p. 253-267.
- [29]. Godara, Lal C.. Applications of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part I: Performance Improvement, Feasibility, and System Considerations. En : Proceedings of the IEEE. Vol. 85, No. 7 (jul. 1997); p. 1031-1060.
- [30]. Godara, Lal C.. Applications of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction-of-Arrival Considerations. En : Proceedings of the IEEE. Vol. 85, No. 8 (ago. 1997); p. 1195-1245.
- [31]. Golden, G. D. et al. Detection Algorithm and Initial Laboratory Results using the V-BLAST Space-time Communi-



- cation Architecture. En : Elec. Letters, Vol. 35, No. 1, (ene. 1999); p. 14-15.
- [32]. Holma, Harri and Toskala, Antti. WCDMA for UMTS : radio access for third generation mobile communications. West Sussex : John Wiley & Sons, 2000. pp.1-40, 243-279.
- [33]. Hunukumbure, M. and Beach, Mark.. Outdoor MIMO Measurements and Analysis with Different Antenna Arrays. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Barcelona). 8 p. TD-(03)007.
- [34]. Laiho, Jaana, Wacker, Achim and Novosad, Tomas. Radio Network Planning and Optimization for UMTS. John Wiley & Sons, Ltd., 2002. p. 279-328.
- [35]. Lee, William C. Y. Mobile Communications Engineering. U.S : McGraw-Hill Book Company, 1998.
- [36]. Lienard, M. and Degauque, P.. Performances of MIMO Systems in Tunnels of Various Cross Sections. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Barcelona). 10 p. TD-(03)030.
- [37]. Maral, G. and Bousquet M., *Satellite Communications Systems*, Jhon Wiley & Sons, 1999. p. 1-76, 141-199.
- [38]. Martone, M.. Fast Adaptive Super-Exponential Multistage Beamforming for Cellular Base-Station Transceivers with Antenna Arrays. En : IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 4, (jul. 1999); p. 1017-1028.
- [39]. Martone, M.. Blind Adaptive Detection of DS/CDMA Signals on Time-Varying Multipath Channels with Antenna Arrays Using High-Order Statistics. En : IEEE Transactions on Communications, Vol. 48, No. 9, (sep. 2000); p. 1590-1600.
- [40]. Martone, M.. Wavelet-Based Separating Kernels for Array Processing of Cellular DS/CDMA Signals in Fast Fading. IEEE Transactions on Communications, Vol. 48, No. 6, (jun. 2000); p. 979-995.
- [41]. Martone, M.. Multipoint Multichannel Distribution Service at 155 Mb/sec in 4.6 MHz: An Experimental Prototype Based on Wavefield Modeling. En : submitted to *IEEE Trans. Commun.*, available online at [www.wjcommunications.com/pdf/techpubs/Mmds2.pdf](http://www.wjcommunications.com/pdf/techpubs/Mmds2.pdf), See also M. Martone, Multi-antenna Digital Radio Systems, Artech House, 2002.
- [42]. Maurer, J., Waldschmidt, C., Kayser, T. and Wiesbeck, W.. Influence of Time Dependence of the Urban MIMO Channel on FDD Communication Systems.

- En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Paris). 9 p. TD-(03)093.
- [43]. Nagatsuka, M., Ishii, N., Kohno, R. and Imai, H. Adaptive array antenna based on spatial spectral estimation using maximum entropy method. En : IEE-CE Trans. Commun., Vol. E77-B, pp. 624–633, 1994.
- [44]. Naguib, A. F. and Paulraj, A.. Performance of CDMA cellular networks with base-station antenna arrays. En : Proc. IEEE Int. Zurich Seminar Communications, Zurich, Switzerland, 1994, pp. 87–100.
- [45]. Naguib, A. F., Paulraj, A. and Kailath, T.. Capacity improvement with base-station antenna arrays in cellular CDMA. En : IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 43, pp. 691–698, 1994.
- [46]. Pedersen, K. I., Mogensen, P. E. And Moreno, J. R.. Application and Performance of Downlink Beamforming Techniques in UMTS. En : IEEE Communications Magazine, (oct. 2003); p. 134-143.
- [47]. Pesavento, M., Mecklenbräuer, C. F., and Böhme, J.F. Tree-structured multi-dimensional Rare for MIMO channel estimation. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Barcelona). 9 p. TD-(03)020.
- [48]. Rappaport, Theodore S.. Wireless Communications: Principles and Practice. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1996. p. 139-192, 197-294, 299-359, 395-436.
- [49]. Salz, J. and Winters, J. H.. Effect of fading correlation on adaptive arrays in digital mobile radio. En : IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 43, pp. 1049–1057, 1994.
- [50]. Sampath, H., et al. A Fourth-generation MIMO-OFDM Broadband Wireless System: Design, Performance, and Field Trial Results. En : IEEE Communications Magazine. Vol. 40, No. 9, (sep. 2002); pp. 143–149.
- [51]. Saunders, Simon R.. Antennas and propagation for wireless communication systems. West Sussex : John Wiley & Sons, 1999. pp. 202-402.
- [52]. Sibille, A.. MIMO diversity for ultra wide band communications. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Barcelona). 16 p. TD-(03)071.
- [53]. Simeone, O. and Spagnolini, U.. Lower bound on the channel estimation MSE for fast-varying block-fading Rayleigh MIMO channels. En : 7<sup>th</sup> Management

- Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Paris). 8 p. TD-(03)084.
- [54]. Skentos, N., Kanatas, A. G., Pantos, G., and Constantinou, P.. Capacity results of MIMO measurements at 5.2GHz in urban environment. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Barcelona). 10 p. TD-(03)056.
- [55]. Sklar, B.. Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part I: Characterization. En : IEEE Communications Magazine, (jul. 1997); p. 90-100.
- [56]. Sklar, B.. Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part II: Mitigation. En : IEEE Communications Magazine, (jul. 1997); p. 102-109.
- [57]. Telatar, E., Capacity of Multi-Antenna Gaussian Channels. En : Euro. Trans. Telecommun., Vol. 10, (nov.-dic. 1999); p. 585-595.
- [58]. Vela, Rodolfo N., *Comunicaciones por Satélite*, Thomson, 2003. pp. 1-47.
- [59]. Wang, R. and Blostein S. D.. A Spatial-Temporal Decorrelating Receiver for CDMA Systems with Base-Station Antenna Arrays. En : IEEE Trans. Commun., Vol. 49, No. 2, (feb. 2001); p. 329-340.
- [60]. Wang, X. and Poor, H. V.. Space-Time Multiuser Detection in Multipath CDMA Channels. En : IEEE Trans. Sig. Proc., Vol. 47, No. 9, (sep. 1999); p. 2356-2374.
- [61]. Weber, T. and Maniatis, I.. Channel Knowledge: A Crucial Prerequisite for MIMO Transmission?. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Paris). 10 p. TD-(03)083.
- [62]. Weichselberger, W. and Özcelik H.. A Novel Stochastic MIMO channel Model and its Physical Interpretation. En : 7<sup>th</sup> Management Committee Meeting Cost 273 (Commission of the European Communities and Cost Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Paris). 11 p. TD-(03)083.
- [63]. Yim, C., Kohno, R. and IMAI, H.. Adaptive array antenna based on estimation of arrival angles using DFT on spatial domain. En : Electron. Commun. Japan, Vol. 76, pp. 96-108, 1993.
- [64]. Restrepo, Joaquín; Maral, Gérard; Jaramillo, Santiago; Botero, Marcela. Estrategias para mejorar la calidad del servicio (QoS) en sistemas satelitales Non-GEO(MSS) con células fijas en el satélite (SFC). En : Grupo

de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones, Gidat, Universidad Pontificia Bolivariana (U.P.B).

- [65]. KANG, Byeong-Gwon, Performance Evaluation of a Mobile Stratospheric Communication System on Measured Rician Log-Normal Fading Channel Models
- [66]. XIE, Yongjun, and Fang, Yuguang. A General Statistical Channel Model for Mobile Satellite Systems. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, Vol. 49, No. 3, May 2000.
- [67]. Abdi, Ali; LAU, Wing C.; Alouini, Mohamed-Slim and Kaveh, Mostafa. A New Simple Model for Land Mobile Satellite Channels: First- and Second-Order Statistics. *IEEE Transactions On Wireless Communications*, Vol. 2, No. 3, May 2003.
- [68]. Patzold, Matthias; Killat, Ulrich; LI, Yingchun and Laue, Frank. Modeling, Analysis, and Simulation of Nonfrequency-Selective Mobile Radio Channels with Asymmetrical Doppler Power Spectral Density Shapes. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, Vol. 46, No. 2, May 1997.
- [69]. Barts, R. Michael and Stutzman, Warren L.. Modeling and Simulation of Mobile Satellite Propagation. *IEEE Transactions On Antennas and Propagation*, Vol. 40, No. 4, April 1992.
- [70]. Saunders, S.r.; Tzaras, C.; Oestges, C.; Vanhoenacker, D., Physical-Statistical Modelling of the Land Mobile Satellite Channel. Centre for Communication Systems Research, University of Surrey, UK.
- [71]. Dovis, Fabio; Fantini, Roberto; Mondin, Marina and SAVI, Patrizia, Small-Scale Fading for High-Altitude Platform (HAP) Propagation Channels. *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, Vol. 20, No. 3, April 2002.
- [72]. Fontan, F.p.; Castro, M.a.v.; Buonomo, S. J.; Pamp, Kunisch; Zollinger, J. E. Wide-band statistical model for the LMS channel. University of Vigo, Spain.
- [73]. Briso, César; Alonso, José I.. Statistical and Empirical Models for LMSC Fading Based on GPS Measurements. Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
- [74]. Attia, Tarek; Sweeney, Peter and Sweeting, Martin. Satellite Diversity Gain Over The LEOS Channel, Based CDMA Systems. University of Surrey, UK.
- [75]. Vázquez-castro, M. F.; Pérezfontán and Arbesser-rastburg., B., Channel Modeling for Satellite and HAPS System Design. *Wireless Communication and Mobiles Computing*, Vol. 2, No. 3., John Wiley & Sons, Ltd, UK, May 2002. p. 285-300.
- [76]. Popescu, D.C. and Rose, C., Interference Avoidance and Multiuser MIMO Systems. *International Journal of Satellite*

- Communications and Networking, Vol. 21 No. 1, John Wiley & Sons, Ltd, UK, Jan.-Feb. 2003. p. 143-161.
- [77]. Oppenheim, Alan V.; Schafer, Ronald W. y Buck, John R. Tratamiento de señales en tiempo discreto. Segunda edición., Prentice Hall, 2000. caps. 5, 8 y 10.
- [78]. Bello, P. A., Characterization of randomly time-variant linear channels, *IEEE Trans.*, CS-11 (4), 360-393, 1963.
- [79]. Corazza, G. E., and Vatalaro, F., A statistical-model for land mobile satellite channels and its application to nongeostationary orbit systems, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, 43 (3), 738-42, 1994.
- [80]. Hwang, Seung-Hoo; KIM, Ki-Jun; AHN, Jae-young; and WHANG, Keum-Chan, A channel model for nongeostationary orbiting satellite system, In Proc. IEEE International Vehicular Technology Conference, Phoenix AZ, 5-7 May 1997.
- [81]. LOO, C., A statistical model for land mobile satellite link, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, 34 (3), 122-27, 1985.
- [82]. Lutz, E., A Markov model for correlated land mobile satellite channels, *Int. J. Satellite Communications*, 14, 333-9, 1996.
- [83]. Lutz, E.; Cygan, D.; Dippold, M.; Dolainsky, F.; and Papke, W., The land mobile satellite communication channel-recording, statistics and channel model, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, 40 (2), 375-5, 1991.
- [84]. Castro, K I Ziri; Scanlon, W G; Feustle, R; and, EVANS, N E, Channel modelling and propagation measurements for a bodyworn 5.2 GHz terminal moving in the indoor environment, Twelfth International Conference on Antennas and Propagation (ICAP 2003), University of Exeter, 2003.
- [85]. Rudd; R.f.; Saunders, S.r., Statistical modelling of the indoor radio channel – an acoustic analogy, Twelfth International Conference on Antennas and Propagation (ICAP 2003), University of Exeter, 2003.
- [86]. Unar, M H; Glover, I A; Heaton, J; Williams, C; Cannon, P S, Wide-band mobile radio channel characterisation in UHF band for residential suburban areas, Twelfth International Conference on Antennas and Propagation (ICAP 2003), University of Exeter, 2003.

## CURRICULUM

**Alexis Paolo García Ariza:** nació en Bucaramanga-Colombia. Ingeniero Electrónico de la Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Candidato a Master en Ingeniería Electrónica de la misma Universidad. Becario Alban del Doctorado en Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Valencia-UPV, España. Hace parte del Grupo de Investigación en Radiocomunicaciones RadioGIS-UIS, Bucara-

manga-Colombia. Realiza investigaciones en el ámbito de canales MIMO y modelos de propagación aplicables a la región Andina utilizando Sistemas de Información Geográfica-GIS, en cooperación con el Ministerio de Comunicaciones de Colombia, la Universidad ICESI y la UPV. Se ha desempeñado como docente de las cátedras de Comunicaciones Sateli-

tales, Comunicaciones Móviles y Antenas. Sus áreas de interés incluyen Sistemas de Tercera y Cuarta Generación, GIS aplicado a las telecomunicaciones, modelos de propagación, redes de datos móviles y procesado de señales en sistemas MIMO para 4G. (E-mail: paolo\_1@ieee.org, alexis\_paolo@yahoo.es). ☼

# Herramienta gráfica de modelado de redes inalámbricas basada en modelos de propagación de señales en interiores

Sandra Paulina López  
*splopez@icesi.edu.co*

Juan David Osorio Betancur  
*juandoso@correo.icesi.edu.co*

Andrés Navarro Cadavid  
*anavarro@icesi.edu.co*

Fecha de recepción: 27-05-2004

Fecha de aceptación: 04-10-2004

## ABSTRACT

This paper describes the implementation of an indoor propagation prediction model, based in the semiempirical model of K. W. Cheung, J. H. M. Sau, y R. D. Murch [1], which includes the Path Loss, the incidental angle over walls and the associated attenuation, and the Fresnel zones.

The information about the specific environment are taken from a DXF file, that must follow an established format. The attenuation factor of walls and the AP location are obtained from the user.

Also, a shadowing algorithm that optimize the simulation time is developed.

Finally, the contrast of the simulation results against the data of a site survey is showed.

## KEY WORDS

Propagation Models, Wireless LAN, Wireless Systems, DXF, Attenuation, Shadowing Test.

## RESUMEN

El presente artículo describe el proceso de implementación de un modelo de predicción de la propagación de señales en interiores, basado en el modelo semiempírico de K. W. Cheung, J. H. M. Sau, y R. D. Murch, [1] donde se tienen en cuenta la atenuación debida a la distancia, el ángulo de incidencia sobre las paredes, la

atenuación asociada a estas mismas y las zonas de Fresnel.

Los datos del entorno a simular son tomados de un archivo DXF que debe seguir un formato establecido. Se obtienen del usuario la atenuación asociada a cada tipo de pared y la ubicación del punto de acceso.

También se desarrolla un algoritmo de sombreado que optimiza el tiempo de simulación debido a su sencillez.

Finalmente se muestra la comparación de los resultados de la simulación y los datos obtenidos en la prueba de campo.

#### **PALABRAS CLAVES**

Modelos de propagación, redes inalámbricas de área local, sistemas inalámbricos, DXF, atenuación, pruebas de sombreado.

**Clasificación Colciencias: A**



## INTRODUCCIÓN

El desempeño de las redes inalámbricas de área local (WLANs), o cualquier otro sistema inalámbrico, se ve fuertemente influenciado por las características de sus puntos de acceso (antenas transmisoras), como lo son su cantidad, ubicación y potencia de transmisión. Por esta razón es muy importante realizar una planeación cuidadosa de estas características para optimizar los recursos que se tienen y brindar una mejor calidad de servicio, ya que estos dispositivos usualmente representan la mayor inversión en el montaje de una WLAN, no sólo por su costo sino también por la instalación del cableado de energía y de datos que estos requieren.

Con esta motivación se decidió realizar una herramienta gráfica basada en un modelo de propagación ya existente, que se adapte a las condiciones específicas para ambientes en interiores.

La herramienta aquí desarrollada no pretende modelar la propagación en exteriores. Además, el modelado se realizará para dos dimensiones, es decir, a nivel de un piso.

## MODELO BASE

Para esta herramienta se escogió el modelo propuesto en [1] al cual se le realizaron algunas simplificaciones y adaptaciones propias del entorno local.

Este modelo incorpora gran parte de los fenómenos de propagación que son sugeridos por teorías electromagnéticas como la UTD, pero retiene la simplicidad de la aproximación empírica. Una ventaja potencial es que los factores empíricos requeridos para

el modelo pueden relacionarse con derivaciones teóricas de manera que ajustar u optimizar el modelo a los datos medidos puede no ser necesariamente requerido. Los tiempos de computación se mantienen al mínimo, de modo que las predicciones puedan realizarse interactivamente en un PC sin una reducción significativa en la precisión de la predicción. Este modelo puede verse como si estuviera en el medio entre las técnicas empíricas y de trazado de rayos.

## Conceptos básicos

Se define la pérdida debido a la trayectoria como

$$PL(d) \text{ [dB]} = 10 \log P_r(d_0) - 10 \log P_r(d) \quad (1)$$

Donde  $P_r(d)$  es la potencia recibida a una distancia  $d$  del transmisor. La distancia de referencia  $d_0$ , que aquí es tomada como 1 metro, es utilizada para normalizar la pérdida de trayectoria con la que ocurre a la distancia  $d_0$  del transmisor de manera que sólo se incluyan efectos de propagación.

Las aproximaciones empíricas o estadísticas para predecir la pérdida por trayectoria toman la forma

$$PL(d) \text{ [dB]} = m 10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right)^n + \sum_{p=1}^P WAF(p) + \sum_{q=1}^Q Q FAF(q) \quad (2)$$

donde  $P$  y  $Q$  son el número de paredes y pisos respectivamente entre el transmisor y el receptor. Los parámetros empíricos  $n$ ,  $WAF(p)$  y  $FAF(q)$  son respectivamente el exponente de pérdida por trayectoria, el factor de atenuación de pared y el factor de atenuación de piso. El valor de estos

parámetros se determina aproximando el modelo a los datos medidos en el edificio de interés. La precisión de la predicción puede ser pobre en ciertas áreas del edificio, especialmente a grandes distancias del transmisor.

### El modelo empírico de propagación utilizado

Para mejorar la precisión de este modelo manteniendo su simplicidad, se incorporan efectos adicionales de propagación que han sido observados y son sugeridos por la UTD.

#### A. Dependencia de la distancia del exponente de pérdida por trayectoria

Se ha observado que la pérdida como función de la distancia tiene dos regiones distintas. En la primera, la pérdida es similar a la que ocurre en el espacio libre, debido a que a distancias cortas de la antena las obstrucciones como paredes y pisos no interactúan significativamente con las ondas que se propagan. Sin embargo, a mayores distancias, en la siguiente región, la pérdida se incrementa significativamente a medida que las ondas electromagnéticas se ven más obstruidas por los techos y paredes de los cuartos en el edificio. La distancia a la cual se da esta transición en la pérdida se refiere aquí como el *breakpoint* (terminología que se usa en el estudio de microceldas).

El fenómeno del *breakpoint* se incorpora modificando la ecuación:

$$\begin{aligned}
 & PL_{bp}(d) \text{ [dB]} \\
 &= 10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right)^{n_1} U(d_{bp} - d) \\
 &+ 10 \left[ \log \left( \frac{d_{bp}}{d_0} \right)^{n_1} + \log \left( \frac{d}{d_{bp}} \right)^{n_2} \right] U(d - d_{bp}) \\
 &+ \sum_{p=1}^P WAF(p) + \sum_{q=1}^Q FAF(q)
 \end{aligned} \tag{3}$$

donde  $d_{bp}$  es la distancia del transmisor al *breakpoint*,  $n_1$  y  $n_2$  son los exponentes de pérdida por trayectoria en cada lado del breakpoint y  $U(*)$  es la función escalón unitario.

Los parámetros adicionales  $d_{bp}$ ,  $n_1$  y  $n_2$  que han sido introducidos pueden obtenerse de las zonas de Fresnel. Considerando el tamaño de la primera zona de Fresnel, puede calcularse la distancia  $d_{bp}$  a la cual ocurrirá la obstrucción de esta zona. El diámetro de la primera zona de Fresnel a una distancia  $d$  del transmisor puede aproximarse por  $Z_f \approx \sqrt{\lambda d}$

Los exponentes  $n_1$  y  $n_2$  también dependen del entorno de propagación particular. En general  $n_1$  debe estar cerca del valor del espacio libre una vez que se remueven los efectos de la antena. El parámetro  $n_2$  debe ser mayor debido a que representa la propagación cuando la primera zona de Fresnel se ha obstruido.

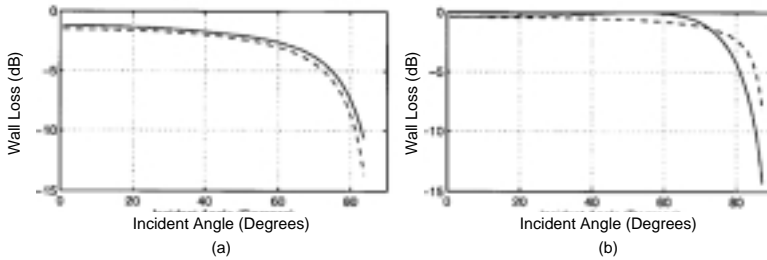
#### B. Dependencia de los factores de atenuación respecto al ángulo

Cuando la radiación electromagnética incide oblicuamente en una pared o piso, se transmitirá menos energía al otro lado de la misma que si la incidencia hubiera sido perpendicular. Por esta razón se incorpora este efecto al modelo haciendo que el **WAF(p)** dependa del ángulo de incidencia.

En general, las expresiones exactas para la atenuación por pared son algebraicamente complejas, pero su esencia puede obtenerse usando una aproximación simple. Para la incidencia horizontal se asume que la transmisión es cero, mientras que para la incidencia perpendicular se toma la pérdida igual a **WAF(p)** [o **FAF(q)**],

que se obtiene de medidas de propagación en el sitio. Para ángulos intermedios, se interpolan estos valores usando una función coseno:  $WAF(p)[dB] / \cos \theta_p$ , donde  $WAF(p)[dB]$  se toma como el factor de atenuación para incidencia normal y  $\theta_p$  es el ángulo de incidencia con respecto a la normal para la pared  $p$ . Los resultados de esta

aproximación se muestran en la Figura 1, donde también se puede observar que se comporta bien, especialmente si se compara con lo que se hubiera obtenido si no se hubieran incluido variaciones del  $WAF(p)$  con respecto al ángulo de incidencia (ver Figura 1).



**Figura 1.** Atenuación por pared como función del ángulo de incidencia para dos estructuras de pared (tomado de [1]).

(a) Pared sólida de 12.5 cm de ancho y  $\epsilon = 3$ . (b) Pared hueca de yeso, con paneles de 1 cm de ancho,  $\epsilon = 3$ , separados por 10 cm de aire. La línea sólida representa la atenuación calculada tratando la pared como un medio por capas, mientras que la línea punteada es la aproximación  $WAF / \cos \theta$ .

Incorporando de esta forma los factores de atenuación al modelo se llega a un modelo mejorado con un muy pequeño incremento en el esfuerzo computacional.

Debido a que este proyecto fue concebido para modelar la propagación de señales a nivel de un piso, no se tienen en cuenta los efectos de propagación de un piso a otro, por lo cual el parámetro  $FAF(q)$  se eliminó de la ecuación.

$$\begin{aligned}
 PL_{bp}(d) [dB] &= 10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right)^{n_1} U(d_{bp} - d) \\
 &+ 10 \left[ \log \left( \frac{d_{bp}}{d_0} \right)^{n_1} + \log \left( \frac{d}{d_{bp}} \right)^{n_2} \right] U(d - d_{bp}) \\
 &+ \sum_{p=1}^P WAF(p) / \cos \theta_p
 \end{aligned} \tag{4}$$

En este modelo es necesario ajustar los parámetros empíricos  $n_1$ ,  $n_2$  y  $d_{bp}$ , que se toman como base, debido a que dependen de la frecuencia de operación del transmisor (para el caso de las redes inalámbricas 802.11b es de 2.4 GHz).

#### ADQUISICIÓN DE DATOS

Como formato para la adquisición de datos sobre los ambientes a simular,

se escogió el formato DXF<sup>1</sup> (Drawing Interchange File) de AutoCAD [3] puesto que es un formato estándar de intercambio de información entre herramientas de CAD donde todos los datos están guardados en forma de texto plano.

Este formato representa toda la información contenida en un archivo de dibujo a través de datos etiquetados, lo que significa que cada elemento de dato en el archivo es precedido por un número entero llamado código de grupo que indica qué tipo de elemento de dato lo sigue. Cada código de grupo y su valor asociado se encuentra en una línea independiente.

#### CONDICIONES DEL FORMATO DEL PLANO

El programa requiere que el plano a utilizar como fuente de datos cumpla con las siguientes características:

- El plano debe estar en formato DXF.
- Sólo se tendrán en cuenta entidades tipo Line y Polyline. Cualquier otro tipo de entidad será ignorada al importar los datos del archivo DXF.
- Las paredes, puertas y ventanas deben representarse sólo con una línea.
- Todas las entidades que compartan la misma característica de propagación (atenuación) deberán pertenecer a la misma capa.
- En el plano sólo deben existir objetos que puedan asociarse a una atenuación mensurable. Las lí-

neas únicamente deben representar objetos, no deben existir líneas que representen decoración.

#### ALGORITMO DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

El modelo fue escrito en lenguaje Java<sup>2</sup> y está pensado con orientación a objetos.

El código fuente está disponible para usos académicos exclusivamente. Cualquier aplicación comercial requiere de autorización expresa por parte de los autores.

#### EL PROCESO DE LA SIMULACIÓN

El algoritmo implementado sigue los pasos descritos a continuación:

- \* Importar el plano:
  - Obtener lista de capas.
  - Obtener arreglo de líneas
- \* Obtener parámetros del usuario:
  - Atenuación asociada a cada capa.
  - Ubicación del AP.
  - Resolución de la simulación.
- \* Asociar parámetros a objetos del modelo:
  - Asociar atenuación a líneas según la capa a la que pertenecen.
  - Normalizar las coordenadas de las líneas y de los vértices máximo y mínimo, de acuerdo con las coordenadas del AP.
- \* Ejecutar la simulación:
  - Se construye la matriz de atenuaciones de acuerdo con la resolución elegida.

1. DXF y AutoCAD son marcas registradas de Autodesk, Inc.  
2. Java es una marca registrada de Sun Microsystems, Inc.

- Se ejecuta la prueba de sombreado.
  - Se calcula la pérdida por trayectoria para cada cuadro, utilizando la ecuación del modelo.
- \* Presentar los resultados:
- Se obtiene la matriz de atenuaciones, y con ella se crea una matriz con colores codificados de acuerdo con la potencia de la señal en cada punto.
- \* Se dibuja la matriz anterior, y sobre ella se dibujan las líneas del plano.

### PRUEBA DE SOMBREADO

Es necesario buscar cuándo una línea sombrea el punto central de un cuadro, para en éste agregar una referencia a dicha línea. Se recorre el arreglo de líneas, y con cada una de ellas se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se verifica en qué cuadrantes se encuentra cada vértice de la línea.
2. Se halla la pendiente (m) y el corte con el eje y (c) de la línea.

Se halla la dirección de recorrido de la matriz, que se codifica así: (1) arriba-abajo, derecha-izquierda; (2) arriba-abajo, izquierda-derecha; (3) abajo-arriba, izquierda-derecha; (4) abajo-arriba, derecha-izquierda; (5) arriba-abajo; (6) izquierda-derecha; (7) abajo-arriba; (8) derecha-izquierda.

3. Se hallan los límites hasta donde se recorrerá la matriz. Estos límites están asociados a las direcciones de recorrido
4. Se realiza el recorrido de la submatriz de cuadritos (de acuerdo

con la dirección de recorrido y los límites definidos) para agregar la línea actual a todos los cuadros que ésta sombrea. Para cada uno de los cuadros de la submatriz se evalúa si el punto central se encuentra dentro del sector formado por los ángulos de los vértices de la línea, y si no se encuentra entre el punto (0,0) y la línea, usando un método matemático llamado desviación de un punto con respecto a una recta. [2]. Si ambas condiciones se cumplen, se agrega la línea al arreglo de líneas que posee el cuadro evaluado para indicar que esta línea lo sombrea.

### PREDICCIONES DE PROPAGACIÓN Y RESULTADOS DE MEDIDAS

Se realizaron predicciones de propagación en el segundo piso del edificio de área de postgrado de la Universidad Icesi, usando el modelo, y se compararon con medidas tomadas en el sitio. Este edificio de dos pisos fue construido en 1998, está constituido de paredes de ladrillo, y sus espacios interiores están separados por paredes de panel de yeso.

Para realizar las predicciones de propagación se obtuvo información del edificio de los planos en formato DWG de AutoCAD, los cuales fueron formateados siguiendo los lineamientos que se describieron anteriormente.

El parámetro empírico de atenuación asociado a cada pared fue obtenido realizando mediciones directas de la potencia de la señal que atraviesa la pared y comparando este valor con el obtenido a la misma distancia sin obstáculos. Estas mediciones dan como resultado una atenuación de 10 dB para las paredes de ladrillo, y 5 dB para las paredes de panel de yeso.

El parámetro empírico  $d_{bp}$  fue obtenido con la fórmula propuesta en el modelo original, teniendo en cuenta la frecuencia de operación de la red inalámbrica utilizada en las mediciones (802.11b).

Frecuencia de operación:  $f = 2.43$  GHz,

Longitud de onda:  $\lambda = c/f = 0.123$  m (c: velocidad de la luz)

Diámetro de la primera Zona de Fresnel:  $Zf = 5$  (Distancia entre paredes)

Distancia del *BreakPoint*:  $d_{bp} = (Zf^2) / \lambda = 25/0.123 = 203$  m

Los parámetros empíricos  $n1$  y  $n2$  fueron seleccionados ajustando el modelo a las mediciones efectuadas, ya que estos dos parámetros varían según las condiciones del sitio. Debido a que la distancia del *breakpoint* es de más de 200 m, no es fácil encontrar una situación práctica al trabajar con WLANS en interiores donde el exponente  $n2$  pueda ser aplicado en la simulación

$n1 = 3$

$n2 = 4$

En el sitio se tomaron medidas de la potencia de la señal en 39 lugares. En cada lugar se realizaron dos medidas, cada una de las cuales resulta de un promedio de la potencia de señal recibida que la herramienta (SiteSpy®) realiza durante 20 segundos (Ver Figura 2).



Figura 2. Plano del sitio de pruebas.

La simulación sobre este sitio se realizó con una resolución de 1 m para obtener un número de datos que facilitara su comparación con las medidas. Para calcular la potencia de señal en cada posición a partir de la atenuación obtenida del modelo se sumaron a esta última las pérdidas por espacio libre desde el transmisor hasta la distancia de referencia (1 m), utilizando la expresión para UHF:

$$P[\text{dB}] = 32,45 + 20 \log(d[\text{Km}]) + 20 \log(f[\text{MHz}])$$

donde  $d$  (distancia) = 0.001 km y  $f$  (frecuencia) = 2437 MHz.

Este valor resultante, que es el valor de la pérdida total, debe restarse a la potencia inicial de transmisión más la ganancia de las antenas del transmisor y el receptor. El AP utilizado, un Cisco Aironet serie 350, opera por defecto con una potencia de 100 mW (20 dBm), y posee antenas con una ganancia de 2,2 dBi, que en la práctica, debido a pérdidas en el conector y otros factores, agregan aproximadamente 1 dB a la potencia recibida. Para el adaptador del cliente, una tarjeta PCMCIA Cisco Aironet 350, puede suponerse que no hay ganancia en la antena.

Así, para cada cuadro de la simulación, la potencia de señal se obtiene de la expresión:

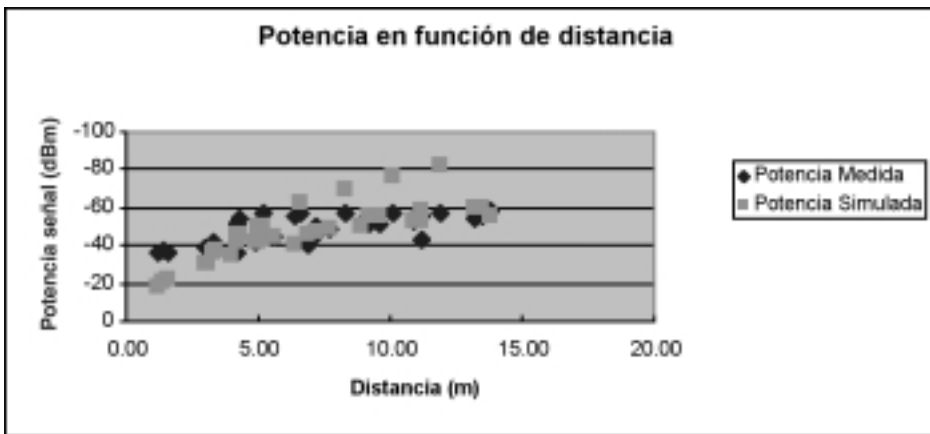
Potencia de transmisión	20 dBm
+Ganancia de antena	1 dB
- Pérdida de espacio libre hasta la distancia de referencia	37,19 dB
- Pérdida obtenida del modelo	x dB
=Potencia de señal	

Se realizó la comparación entre los datos de potencia de la señal obtenidos con las mediciones y los obteni-

dos con la simulación, consiguiendo los siguientes resultados (Ver Tabla 1 y Figura 3).

**Tabla 1.** Análisis estadístico de los resultados obtenidos del modelo base y del modelo realizado.

Modelo	Media error (dBm)	% datos con error < 5dB	% datos con error < 10 dB	Desviación error (dBm)
WPS	-0.32	48.7	82.1	8.78
Base	-0.30	54.0	86.8	6.70



**Figura 3.** Potencia de señal en función de la distancia para la potencia medida y la simulada.

También se realizó la simulación con una resolución de 20 cm para comparar ambos tiempos de procesamiento. Aun cuando se nota un aumento significativo en el tiempo requerido para obtener los resultados (aprox. 1 seg. para la resolución de 1 m y aprox. 5 seg. para 20 cm tomados desde que se ordena correr la simulación hasta que se muestran gráficamente los resultados),<sup>3</sup> el tiempo de procesamiento sigue siendo extremadamen-

te bajo, lo suficiente para que el programa sea utilizado interactivamen-



**Figura 4.** Simulación sobre el sitio de pruebas. Resolución 1 m.

3. Utilizando un equipo con un Pentium Celeron a 1.7 GHz, 512 MB en RAM.

te. Los resultados gráficos de ambas simulaciones se muestran a continuación (Ver Figuras 4, 5 y 6).



**Figura 5.** Simulación sobre el sitio de pruebas. Resolución 20 cm.



**Figura 6.** Escala de atenuaciones (en dB) para los resultados de la simulación

## CONCLUSIONES

- Una de las grandes ventajas observadas en el modelo es su rapidez al realizar la simulación. Esto es debido a que la prueba de sombreado utiliza un algoritmo óptimo propuesto por los autores, cuya búsqueda se reduce a los sectores que probablemente sean sombreados por un determinado obstáculo.
- Debido a la rapidez computacional del modelo, se considera que puede incorporarse en una herramienta que optimice automáticamente la localización de los puntos de acceso dentro de un edificio.

- Se considera que tanto la adquisición de datos de planos arquitectónicos (en formato DXF) como la prueba de sombreado son herramientas que pueden ser utilizadas como base para futuros proyectos de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] K. W. Cheung, J. H. M. Sau, and R. D. Murch, «A New Empirical Model for Indoor Propagation Prediction», *IEEE Tran. Veh. Technol.*, vol. 47, no. 8, pp. 996-1001, 1998.
- [2] Lehman, Charles H. *Geometría Analítica*. Ciudad de México, México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1963
- [3] AutoCAD 2000 DXF Referente. Autodesk, Inc. <<http://www.autodesk.com/techpubs/autocad/acad2000/dxf/>>

## BIBLIOGRAFÍA

- Cátedra, Manuel F. and Pérez-Arriaga, Jesús. *Cell Planning For Wireless Communication*. Boston, USA: Artech House, 1999.
- Saunders, Simon R. *Antennas And Propagation For Wireless Communication Systems*. Chichester, England: John Wiley & Sons, 1999.
- Java 2 Platform, Standard Edition, v 1.4.2 API Specification. Sun Microsystems, Inc. <<http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/api/>>
- The Java Tutorial. Sun Microsystems, Inc. <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/index.html>



## CURRÍCULOS

**Sandra Paulina López** es Ingeniera Telemática de la Universidad Icesi (2004). Ha realizado investigaciones en el área de tecnologías inalámbricas. Estuvo vinculada laboralmente en Johnson & Johnson como analista de tecnología en el primer semestre del 2004. En la actualidad es Administradora Junior de Red de la Universidad Icesi.

**Juan David Osorio Betancur** es Ingeniero Telemático de la Universidad Icesi (2004). Ha realizado investigaciones en el área de tecnologías inalámbricas. Es Socio Fundador y Jefe

de Tecnología de Psidium Ltda, empresa dedicada a la prestación de servicios de valor agregado sobre telefonía celular. Contacto: juandos@gmail.com

**Andrés Navarro Cadavid.** Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Magíster en Gestión Tecnológica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Doctor en Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Profesor - Investigador del departamento de Redes y Comunicaciones y director del grupo i2T de la Universidad Icesi. 



# Servicios WEB: Distribución e integración

Liliana M. Arboleda C.

Universidad Icesi  
larboled@icesi.edu.co

Fecha de recepción: 17-06-2004

Fecha de aceptación: 11-10-2004

## ABSTRACT

This article presents an overview of web services and the way enterprises should monitor and administer them.

To accomplish this goal, the different standards involved in their development are presented, along with the description of their basic functional framework, emphasizing on how the use of this kind of services provides both a basic process distribution and, an integration of the information managed by the enterprise in its business applications.

Finally, a brief explanation is given about the global benefits accomplished by using web services and the

main implications of their use in an organizational environment.

## KEY WORDS

web services, distributed systems, web, web applications, XML, WSDL, SOAP, UDDI.

## RESUMEN

En este artículo se presenta un panorama general de los servicios web y la forma en la cual las empresas deben administrarlos y monitorearlos.

Para lo anterior se muestran los diferentes estándares involucrados en su desarrollo, junto con la descripción de su esquema de funcionamiento básico, y se hace énfasis en cómo el uso de este tipo de servicios

proporciona básicamente una distribución de los procesos y a la vez, una integración de la información manejada por la organización en sus aplicaciones de negocios.

Por último, se presentan los beneficios globales logrados por el uso de los servicios web y las principales

implicaciones de su uso en un entorno empresarial.

#### **PALABRAS CLAVES**

Servicios web, sistemas distribuidos, web, aplicaciones web, XML, WSDL, SOAP, UDDI

**Clasificación Colciencias: B**

## INTRODUCCIÓN

Entre los principales beneficios que se exponen al hablar de los servicios web, generalmente se encuentran aquellos que tienen que ver con su **granularidad** e **interoperabilidad**, es decir, con la posibilidad de desarrollar componentes de software totalmente independientes que tienen funcionalidad propia, pero que son capaces de exponer tal funcionalidad y compartirla con otros servicios y aplicaciones para lograr crear sistemas más complejos.

Desde este punto de vista, los servicios web son calificados como una nueva etapa del desarrollo de los sistemas distribuidos, que permite aprovechar todas las ventajas de trabajar en ambiente web, unidas a las de contar con una amplia gama de tecnologías que pueden ser utilizadas para el desarrollo de los componentes finales.

Por otro lado, la visión planteada por este paradigma computacional, donde “todo es un servicio”, permite manejar un esquema de **integración universal** en el cual se pueden aprovechar todos los beneficios de cada componente con un nuevo nivel de complejidad y dinamismo.

Los dos planteamientos anteriores han hecho que para muchos no sea muy claro cómo un mismo producto puede proporcionar a la vez **distribución** e **integridad**, como tampoco son muy claros los conceptos relacionados con el desarrollo e implementación de los servicios web.

Este artículo presenta un panorama general de los servicios web, discutiendo:

- a) Los principales estándares utilizados para su desarrollo.
- b) Los beneficios que proporciona su utilización en una organización.
- c) Los retos planteados por la utilización de los servicios web, especialmente en cuanto a su seguridad y administración.

## ¿QUÉ SON SERVICIOS WEB?

Lo primero que debe tenerse claro es la definición de lo que son los servicios web.

Los servicios web son aplicaciones auto-contenidas, auto-descriptivas y modulares, que pueden ser publicadas, localizadas e invocadas a través del web y que cuentan con un mecanismo estándar para establecer la comunicación con otros tipos de software a través de la red.

“La idea es que cualquier cosa puede ser un servicio web”. “Los servicios web son esencialmente un nivel de infraestructura existente entre modelos de componentes”.<sup>1</sup>

Desde el punto de vista de los negocios, los servicios web permiten que las organizaciones integren sus diferentes aplicaciones de una manera eficiente, sin preocuparse por cómo fueron construidas, dónde residen, sobre qué sistema operativo se ejecutan o cómo acceder a ellas. Precisamente por esta razón es que los servicios web se consideran integrado-

1. Timothy Blacke -»Web Service are real«- Oracle Magazine (March/April 2000).

res, porque permiten crear una interfaz de acceso a las aplicaciones, sin importar las características de implementación de éstas.

Previamente, para hacer este tipo de integración, era necesario crear módulos de software especializados, pero actualmente con los servicios web, básicamente se trabaja con estructuras basadas en XML.

Un servicio web simple está caracterizado por cuatro estándares: XML, SOAP, UDDI y WSDL, los cuales al trabajar juntos proporcionan una funcionalidad básica de tipo "solicitud/respuesta". Los servicios web simples pueden utilizarse para entregar de forma eficiente información como noticias, inventarios y reportes de clima a los sitios web, mientras que un servicio web complejo puede involucrar transacciones más elaboradas entre varias partes, involucrando socios de negocios o proveedores y basado en los estándares de e-bussines (por ej.:ebXML). Si un comerciante necesita surtir su tienda, puede utilizar un servicio web para solicitar cotizaciones a través de internet. A su vez, los proveedores podrían responder automáticamente a la solicitud, enviar su oferta a la tienda en línea y la aplicación que origina el mensaje podría seleccionar automáticamente la oferta con una mejor relación costo/beneficio.

#### FACTORES DE EVOLUCIÓN DE LOS SERVICIOS WEB EN LAS ORGANIZACIONES

En términos generales, la evolución del uso de servicios web en las organizaciones está fuertemente ligada al desarrollo de Internet como red prestadora de servicios. Entre los facto-

res que han impulsado el uso de los servicios web se encuentran:

- *El contenido se está volviendo más dinámico:* Los sitios web actuales proporcionan contenido "instantáneo". Un servicio web debe ser capaz de combinar contenido proveniente de fuentes muy diferentes.
- *El ancho de banda es menos costoso:* Actualmente un servicio web puede entregar tipos variables de contenido, como video o audio. A medida que crezca el ancho de banda, los servicios web deben adaptarse a nuevos tipos de contenido.
- *El almacenamiento es más barato:* Un servicio web debe ser capaz de manejar cantidades masivas de datos, y debe poder hacerlo de forma inteligente.
- *La computación extendida se está volviendo más importante:* Con cientos de millones de dispositivos como teléfonos móviles, beepers, y agendas computarizadas existentes actualmente, estamos llegando a un momento en el cual el PC está dejando de ser el dispositivo más común en internet. A medida que las plataformas se hacen más diversas, tecnologías como XML se volverán más importantes. Un servicio web no puede exigir que los usuarios ejecuten, por ejemplo, un navegador web tradicional en alguna versión de Windows; por el contrario, los servicios web deben servir a todo tipo de dispositivos, plataformas y navegadores, entregando contenido sobre una amplia variedad de tipos de conexión.

Estos factores, unidos a los beneficios proporcionados por los servicios web

en la organización y a los buenos productos disponibles para su desarrollo, han hecho que su utilización se extienda sin mayores obstáculos.

En términos generales, cuando se empiezan a utilizar servicios web en una organización, estos se desarrollan e implementan como servicios simples, que poco a poco se van integrando hasta llegar a servicios web mucho más complejos.

### EL PAPEL DE LOS SERVICIOS WEB

Desde un nivel superior, un servicio web se puede definir como una unidad de código que puede ser activada utilizando solicitudes http. Históricamente hablando, el acceso remoto a unidades binarias requiere protocolos específicos de cada plataforma (y algunas veces específicos de cada lenguaje). Ejemplos clásicos de esta situación, son arquitecturas como DCOM, CORBA o RMI: los clientes DCOM pueden acceder a tipos COM remotos utilizando llamadas RPC fuertemente acopladas, CORBA también requiere el uso de un protocolo fuertemente acoplado para activar los tipos remotos y RMI requiere de un protocolo y un lenguaje específicos (Java). El problema con cada una de estas arquitecturas distribuidas (remotas), es que utilizan protocolos propietarios, que generalmente requieren una conexión estrecha a la fuente remota.

Utilizando servicios web, un programador puede emplear cualquier lenguaje que desee, y un consumidor de servicios web puede usar http estándar para invocar métodos en los ti-

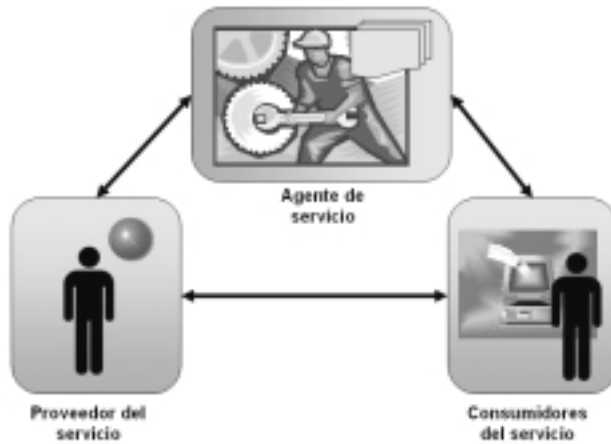
pos definidos en el servicio web. Con lo anterior, podría afirmarse que finalmente se logra una integración real de lenguaje y plataforma. Ya no se trata de Java, COM o CORBA, sino de http y el lenguaje de programación que se elija.

La única restricción real a la que debe ponerse atención es que debido a que los servicios web son diseñados para facilitar las invocaciones remotas, debe evitarse la utilización de cualquier lógica basada en la interfaz gráfica de usuario (GUI). Los servicios web generalmente definen objetos de negocio que ejecutan una unidad de trabajo (por ejemplo: realizar un cálculo, leer una fuente de datos, etc.) para el consumidor y esperan la siguiente solicitud.

### CARACTERÍSTICAS Y OPERACIONES DE LOS SERVICIOS WEB

El esquema de funcionamiento de los servicios web, requiere de tres elementos fundamentales:

1. Un **proveedor del servicio web**, que es quien lo diseña, desarrolla e implementa y lo pone disponible para su uso, ya sea dentro de la misma organización o en público.
2. Un **consumidor del servicio**, que es quien accede al componente para utilizar los servicios que éste presta.
3. Un **agente de servicio**, que sirve como enlace entre proveedor y consumidor para efectos de publicación, búsqueda y localización del servicio.



**Figura 1.** Elementos que interactúan en los servicios web

Al definir un servicio web, se requiere contar con lo siguiente:

- a) Para colocar “disponible” el servicio:
  - El primer paso es **definir** el servicio web: como se dijo antes, el componente software puede desarrollarse utilizando diferentes lenguajes y tecnologías, pero para que este componente pueda interactuar con otros, es necesario utilizar **un lenguaje** común que permita estructurar los datos que componen el servicio web. En este caso tal lenguaje es **XML** (eXtended Markup Language).
  - Una vez se ha definido la funcionalidad del servicio, es necesario **publicarlo** para que otros servicios y aplicaciones puedan acceder a él. Las operaciones de publicación involucran el anuncio del servicio como tal, lo cual corresponde a la ubicación del servicio en un servidor específico y el uso de un servicio de descripción.

El **servicio de descripción** se utiliza para que los clientes puedan saber qué funciones tiene disponibles el servicio web y qué información debe pasarse a esas funciones para poder utilizarlas.

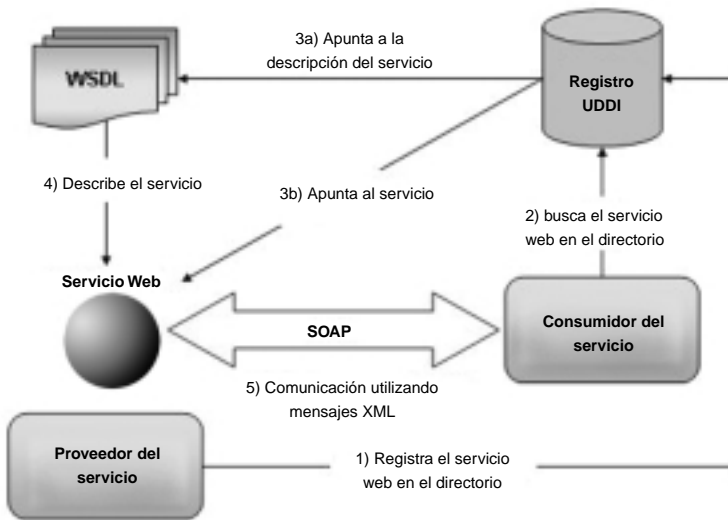
Para que el consumidor pueda utilizar el servicio web, debe entender totalmente los miembros expuestos. Por ejemplo, el consumidor debe saber que el servicio ofrece un método llamado primer Método (string parámetro1, boolean parámetro2, int parámetro3) que toma tres parámetros de tipo string, boolean e int respectivamente, y que devuelve un tipo llamado Respuesta, antes de poder invocarlo. El lenguaje utilizado para elaborar esta descripción del servicio web se denomina **WSDL** (Web Service Description Language) y la publicación se hace mediante UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) ya sea en un servidor UDDI público o en uno privado.



b) Para “localizar” el servicio:

- Cuando un consumidor desea acceder a un servicio web, debe contar con un **servicio de descubrimiento**, que permita conocer la ubicación exacta del servicio, es decir, se debe contar con un directorio donde se tengan listas las referencias a los servicios disponibles. Esto se logra gracias a UDDI.

Para intercambiar información hacia y desde el servicio (entre los consumidores y los servicios web), es necesario contar con un **protocolo de comunicaciones** como SOAP, el cual trasmite los datos sobre HTTP, utilizando métodos como GET o POST. La información entre un servicio web y su consumidor se transmite en formato XML.



**Figura 2.** Publicación y descubrimiento de los servicios web

### Estándares para la caracterización de los servicios web

<b>Pila de interoperabilidad de los servicios web</b>	UDDI (Universal Description, Discovery and Integration)
	WSDL (Web Services Definition Language)
	SOAP (Simple Object Access Protocol)
	XML (eXtensible Markup Language)
	HTTP, TCP/IP (Protocolos comunes de Internet)

**Figura 3.** Pila de interoperabilidad de los servicios web

- **XML: eXtensible Markup Language**

La definición dada por el World Wide Web Consortium (los responsables de XML) es:

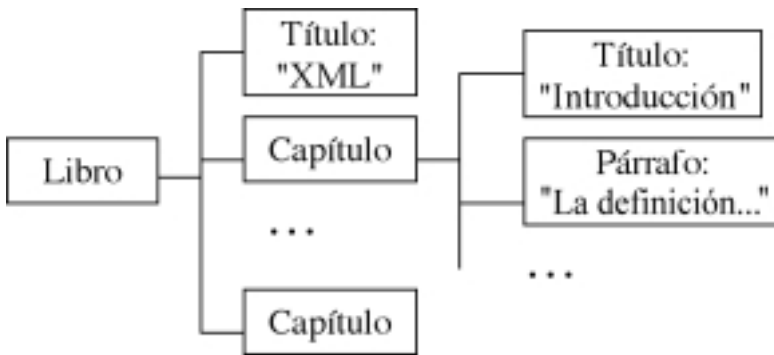
*«XML describe una clase de objetos de datos llamados documentos XML, y describe parcialmente el comportamiento de los programas que los procesan. Los documentos XML están formados por unidades de almacenamiento llamadas entidades, las cuales contienen datos analizados (parsed) o sin analizar (unparsed). Los datos analizados están formados por caracteres, algunos de los cuales conforman datos y otros etiquetas.»*

Aunque esta definición es un poco compleja por la cantidad de elementos involucrados, es importante resaltar que XML permite representar documentos («documento» se refiere no sólo a textos, sino también gráficos, correos electrónicos, transacciones de comercio electrónico, etc.) y que todo documento XML posee una

estructura lógica y una física. Físicamente, el documento está compuesto de unidades llamadas entidades. Una entidad, en términos más simples, puede verse como un «trozo de documento», es decir, puede ser un simple carácter o todo el capítulo de un libro. Todo documento tiene una entidad raíz.

En un documento XML es posible hacer referencia a entidades internas o externas, indicando que están definidas en el mismo documento o en otros documentos (que pueden estar en otros archivos del disco duro, en una base de datos, en internet, etc.), lo que hace muy flexible la construcción de documentos XML.

Lógicamente el documento XML está formado por elementos, que representan la estructura de la información que se está manejando, por ejemplo, si se fuera a representar un libro puede definirse que está formado por los siguientes elementos (Ver Figura 4):



**Figura 4.** Representación de la información de un libro en XML

Cada elemento puede constar de otros elementos, así como de frases y palabras (normalmente el contenido del documento). El elemento que contiene a los demás (en el ejemplo, libro), se denomina elemento raíz, indicando que no depende de otros elementos.

Para definir un elemento en XML se tienen etiquetas y contenido, que en XML se denominan datos de tipo carácter.

Las estructuras física y lógica de un documento se organizan adecuadamente, para lo cual se han establecido unas normas que definen cuándo un documento XML está bien formado y cuándo es válido, o no.

- **WSDL: Web Services Definition Language**

WSDL es el lenguaje común utilizado para la descripción de los servicios web. Es un lenguaje basado en XML que describe totalmente la forma en la cual los clientes externos pueden interactuar con los servicios web existentes en una máquina dada, los métodos que soportan y la sintaxis de los protocolos de comunicación (http, SOAP).

En términos generales, un documento WSDL contiene información acerca de la interfaz, la semántica y los aspectos administrativos involucrados en una solicitud (llamado) a un servicio web.

Según el consorcio W3C (World Wide Web Consortium), encargado de la definición del estándar, WSDL es *«un formato XML para la descripción de servicios de red, como un conjunto de puntos finales operando sobre mensajes que contienen información orientada a documentos u orientada a*

*procesos»*. Las operaciones y mensajes se describen en forma abstracta y luego se asocian a un protocolo de red o a un formato de mensaje específico, para definir un punto final. WSDL se extiende para permitir la descripción de los puntos finales y sus mensajes, sin importar qué formatos de mensaje o protocolos de red se estén utilizando para la comunicación.

- **SOAP: Simple Object Access Protocol**

El protocolo SOAP (Simple Object Access Protocol) utiliza mensajes XML para invocar métodos remotos. Un servicio web podría interactuar con servicios remotos a través de los métodos get y post de http, pero SOAP es mucho más robusto y flexible.

SOAP es un protocolo liviano, basado en XML, para el intercambio de información estructurada en un ambiente descentralizado y distribuido. Sin embargo, SOAP no define la aplicación, ni la semántica de implementación. En vez de esto, proporciona un modelo de empaquetamiento modular y los mecanismos para la codificación de los datos dentro de los módulos. Esto permite que el protocolo simple se utilice en una amplia variedad de sistemas modulares y que cumpla su propósito primario de facilitar la interoperabilidad entre componentes de software heterogéneos.

SOAP es una especificación para la invocación de métodos en servidores, servicios, componentes y objetos, y codifica la práctica existente de utilizar XML y http como un mecanismo de invocación de métodos.

Un paquete SOAP contiene información que se puede utilizar para invo-

car un método. La especificación SOAP no define la forma de llamar al método; tampoco maneja recolección de basura distribuida, ni la seguridad de tipos o http bidireccional. Lo que SOAP permite es el paso de parámetros y comandos entre clientes y servidores de http, independientemente de las plataformas y aplicaciones existentes en el cliente y en el servidor. Los parámetros y los comandos se codifican utilizando XML.

• **UDDI: Universal Discovery, description and integration**

Para los servicios web, XML es el mecanismo por medio del cual los objetos de negocio acuerdan lo que van a hablar unos a otros, SOAP indica cómo van a efectuar la comunicación y UDDI les permite conocer con quién se van a comunicar y dónde encontrar otros objetos de negocio.

En pocas palabras, UDDI es una especificación para un registro distribuido de información acerca de los servicios web. Define la forma en la cual se publica y descubre información acerca de éstos.

Un registro basado en UDDI es donde se pueden descubrir los servicios web. El método utilizado por UDDI para el descubrimiento de servicios es tener un registro de aquellos servicios que se encuentran distribuidos a través del web. En el registro distribuido, los negocios y los servicios se describen utilizando un formato XML común. Los datos estructurados en esos documentos XML son de fácil búsqueda, análisis y manipulación.

Debe anotarse que UDDI/SOAP no son los únicos modelos para el descubrimiento y manejo de mensajes en los servicios web. EbXML ha sido de-

sarrollado para un fin similar, así como para proporcionar una interfaz de negocio, seguridad robusta y otras funciones que permiten el manejo de transacciones reales de e-business. ebXML y UDDI/SOAP son tecnologías complementarias.

Como su nombre lo indica, el estándar de descripción universal, descubrimiento e integración (UDDI), proporciona un mecanismo para que los objetos de negocio se describan a sí mismos y a los tipos de servicios que proporcionan, para luego registrarse y publicarse en un registro UDDI. Tales negocios “públicos” pueden ser buscados, consultados o descubiertos por otros objetos de negocio, utilizando mensajes SOAP. Después de descubrir otros negocios similares con los cuales pueden asociarse, los objetos de negocio pueden utilizar este mecanismo para “integrar” sus servicios con sus “socios” y proporcionar servicios a sus clientes.

Cuando se publica un servicio, es necesario definir al menos cuatro estructuras de información, que son:

a) **Entidad de Negocio:** Esta estructura captura información acerca de un negocio o entidad y es utilizada por los objetos de negocio para publicar información descriptiva acerca de sí mismos y de los servicios que ofrecen.

Las descripciones de servicio y la información técnica se expresan dentro de una Entidad de Negocio.

b) **Servicio de Negocio:** Esta estructura representa los servicios o procesos de negocio proporcionados por la entidad de negocio. Generalmente contiene la clave única utilizada para representar el

servicio, su nombre “human-readable”, una descripción opcional y las estructuras de plantilla de enlace que guardan la información técnica.

c) **Plantilla de Enlace:** Esta estructura representa los datos importantes que describen las características técnicas de la implementación de servicio dada. Cada plantilla tiene una clave de enlace única, la clave de servicio asociada y el punto de acceso que representa la dirección para llamar a un servicio web dado.

d) **ModeloT:** El papel principal de un ModeloT es representar una especificación técnica. Tiene una llave, un nombre, un descriptor opcional y un URL desde el cual se puede obtener información adicional acerca de los datos.

UDDI proporciona dos grandes categorías de APIs, el API de publicación (Publish API) y el API de consulta (Inquiri API).

El API de publicación proporciona el mecanismo para que los proveedores de servicio se registren, junto con su servicio, en el registro UDDI. El API de consulta permite que quienes se suscriben al servicio busquen los servicios disponibles. Este API proporciona dos tipos de llamados, un mecanismo de descubrimiento y un mecanismo de obtención, cuando está disponible toda la información requerida para buscar un servicio.

Los mensajes en el API de publicación representan comandos que se utilizan para publicar y actualizar información contenida en un registro UDDI-compatible. Este API consiste de las siguientes funciones:

- Cuatro mensajes para guardar cada una de las cuatro estructuras: `save_business`, `save_service`, `save_binding`, `save_tModel`.
- Cuatro mensajes para borrar cada una de las cuatro estructuras: `delete_business`, `delete_service`, `delete_binding`, `delete_tModel`.

Los mensajes en el API de consulta representan consultas que cualquiera puede hacer a un registro UDDI. Los mensajes se pueden clasificar en dos grupos: de Navegación (Browse) y de Profundización (Drill-down).

#### BENEFICIOS DE LOS SERVICIOS WEB

1. *Promueven la interoperabilidad:* La interacción entre un proveedor y un solicitante de servicio está diseñada para que sea completamente independiente de la plataforma y el lenguaje. Esta interacción requiere un documento WSDL para definir la interfaz y describir el servicio, junto con un protocolo de red (generalmente http).
2. *Permiten la integración “justo-a-tiempo”:* El proceso de descubrimiento se ejecuta dinámicamente, a medida que los solicitantes de servicio utilizan a los agentes para encontrar proveedores de servicio. Una vez el solicitante y el proveedor de servicio se han ubicado, se utiliza el documento WSDL del proveedor para enlazar al solicitante con el servicio. Esto significa que los solicitantes, los proveedores y los agentes actúan en conjunto para crear sistemas que son auto-configurables, adaptativos y robustos.
3. *Reducen la complejidad por medio del encapsulamiento:* Los so-

licitantes y los proveedores del servicio se preocupan por las interfaces necesarias para interactuar. Como resultado, un solicitante de servicio no sabe cómo fue implementado el servicio por parte del proveedor, y éste a su vez, no sabe cómo utiliza el cliente el servicio. Estos detalles se encapsulan en los solicitantes y proveedores. El encapsulamiento es crucial para reducir la complejidad.

4. *Dan una "nueva vida" a las aplicaciones de legado:* Es relativamente correcto tomar una aplicación, generar un wrapper SOAP, luego generar un documento WSDL para moldear la aplicación como un servicio web.
5. *Abren la puerta a nuevas oportunidades de negocio:* Los servicios web facilitan la interacción con socios de negocios, al poder compartir servicios internos con un alto grado de integración.
6. *Disminuyen el tiempo de desarrollo de las aplicaciones:* Pues gracias a la filosofía de orientación a objetos utilizada, el desarrollo se convierte más bien en una labor de composición.

#### IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS WEB EN UNA ORGANIZACIÓN

Generalmente, la implementación de servicios web en las organizaciones empieza por servicios sencillos, que prestan un único servicio a otras aplicaciones o que usualmente están enlazados a una aplicación web específica que pone los resultados del servicio a disposición del usuario final.

Una vez se ha logrado un funcionamiento estable de los servicios indi-

viduales, se inicia el desarrollo de servicios web más complejos, que involucran aspectos como interacción entre servicios y sincronización de sus funciones, pero que potencian las ventajas de estos componentes de software como integradores de los procesos de la compañía.

Esta interacción impulsa la aparición de nuevas variables que deben tenerse en cuenta para lograr el adecuado funcionamiento de las aplicaciones basadas en servicios web distribuidos. Entre estas variables se tienen:

- a) Al tratarse de componentes distribuidos, la complejidad de interacción de los mismos aumenta y deben considerarse aspectos como confiabilidad de la red, latencia, seguridad y disponibilidad. Por ejemplo, si un sistema utiliza tres servicios web diferentes para ejecutar una única transacción y uno de ellos falla, es posible que no pueda prestarse el servicio solicitado por el usuario final.
- b) En cierta forma se pasa de una estructura tipo cliente/servidor (solicitud/respuesta), a una estructura punto a punto, donde las interacciones de un servicio web no se hacen directamente contra librerías locales, sino que se interactúa con recursos remotos controlados por otros servicios web. Los consumidores de los servicios web son otros componentes de software, no personas.
- c) El mantenimiento de los sistemas basados en servicios web también puede ser muy dispendioso, pues en aquellos casos en los cuales los servicios asociados al sistema no sean administrados por una mis-

ma organización, el proceso de arreglar un problema y el costo asociado a ese proceso, serán mucho mayores.

- d) Las modificaciones a cada servicio web deben ser planeadas cuidadosamente, pues debe tenerse en cuenta que un mismo servicio web puede estar siendo utilizado por diferentes aplicaciones, y peor aún, de diversos tipos. Por tratarse de componentes software, estos no pueden “reaccionar instantáneamente” a los cambios del servicio que están utilizando

Lo anterior dificulta la puesta a punto y la administración de los servicios web para garantizar que estos puedan ser utilizados en un ambiente de producción, y por tanto, en la parte administrativa de los servicios web, es necesario tener en cuenta:

1. aspectos relacionados con el desempeño y la disponibilidad del sistema (características operativas)
2. aspectos relacionados con la confiabilidad y el control de acceso al sistema (características de seguridad)
- 3) aspectos relacionados con los beneficios logrados a través del uso del sistema (características de negocio).

## CONCLUSIONES

Los servicios web son una realidad dentro de las aplicaciones disponibles para su uso dentro de una empresa o para la interacción entre diferentes unidades de negocios, y su evolución se debe al uso de estándares muy bien definidos como XML, WSDL, SOAP y UDDI, pero es importante tener en cuenta que no sólo se trata de “tener”

servicios web que faciliten la distribución de procesos y la integración de información, sino que es necesario monitorear y controlar cuidadosamente su funcionamiento, para lograr los beneficios deseados.

Para la puesta a punto de los servicios web en una empresa, es necesario afinar parámetros relacionados con:

- a) Lógica del negocio: refinar el código para eliminar condiciones de error inesperadas.
- b) Granularidad: definir cómo será la interacción con el servicio web, si utilizando un esquema solicitud respuesta o mediante paso de mensajes.
- c) Acoplamiento: si se diseña el servicio como un servicio síncrono, el acoplamiento es más sencillo, pero implica una interacción de tipo bloqueante entre el consumidor y el servicio web. Si se diseña con un esquema asíncrono, se disminuye la confiabilidad del sistema, pero se evitan las operaciones bloqueantes.
- d) Interoperabilidad: el servicio web debe manejar los estándares del mercado para garantizar el intercambio de mensajes con otros servicios.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Introduction to web services*. Rogue Wave Software. <http://www.roguewave.com>. (2004)
2. *Web services: A practical introduction to SOAP web services*. Systinet Coop. (2003)

3. *Turning software into a service.*  
<http://computer.org>. (Octubre 2003)
4. *Practical considerations for implementing web services. The role of web services management.*  
AmberPoint (Octubre 2003)
5. *The pervasiveness of web services.*  
<http://www.mercuryinteractive.com>  
(2003)
6. *Web services are real.*  
Oracle magazine (marzo/Abril 2002)

## CURRÍCULO

**Liliana M. Arboleda C.** Ingeniera de Sistemas de la Universidad Icesi. Especialista en Dirección estratégica en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid. Se desempeñó como analista de sistemas en Carpak S.A. y actualmente es profesora-investigadora del departamento de Redes y Comunicaciones de la Universidad Icesi, en campos relacionados con protocolos de telecomunicaciones, servicios de red, sistemas distribuidos y programación orientada a objetos. ☼



# El debate sobre el determinismo tecnológico: de impacto a influencia mutua

Luis Alfonso Chávarro

*lualch@universia.net.co*

Fecha de recepción: 30-06-2004

Fecha de aceptación: 05-10-2004

## ABSTRACT

It is common to associate almost automatically the technological change with the social change under the studies of technology, that is, technological determinism. In contrast, it is the thought that the people in the society are the ones who determine the road to be taken of a technology. The latter is considered the social construction of the technology. To observe these polarized positions and its possible intermediate solutions to study the relationship among technology, society and history it is the aim of this article to open a discussion of this type among the researches of technology.

## KEY WORDS

Technological determinism, social construction of technology, techno-

logical innovations, no specified explanations, soft determinism, ideology

## RESUMEN

En una síntesis de la reflexión actual que se adelanta dentro del campo de las ciencias sociales, especialmente entre sociólogos e historiadores de la tecnología, en torno a las relaciones entre la tecnología y la sociedad, se muestran en el artículo el debate y los términos en que se ha enfrascado la polémica (determinismo tecnológico versus construcción social de la tecnología). Dichos postulados son sometidos a una revisión crítica que da cuenta de sus limitaciones, incluyendo los nuevos desarrollos de esas perspectivas, que han sugerido la idea de un «determinismo blando».

Esos mismos términos se examinan desde el ángulo de su precisión semántica: tanto la noción de determinismo (y la variante de determinismo blando) como la de tecnología. Asimismo, se muestran otras vías de la reflexión apuntando hacia el carácter bidireccional de las relaciones entre la tecnología y la sociedad y el concepto de «impulso tecnológico».

Al final se destaca el estudio arqueológico del concepto tecnología ligado

a las representaciones del progreso en su versión optimista y la del posmodernismo en su versión fatalista.

#### **PALABRAS CLAVES**

Determinismo tecnológico, construcción social de la tecnología, impulso tecnológico, explicaciones no deterministas, determinismo blando, ideología del progreso, fatalismo posmoderno.

**Clasificación Colciencias: B**

## INTRODUCCIÓN

Considerar la técnica o la tecnología como factor de cambio social ha llevado a un debate acerca de qué es lo que determina a qué: la tecnología a la sociedad o la sociedad a la tecnología. Muchos teóricos han sugerido que esta es una forma incorrecta de plantear el problema, pero el debate ha seguido. Los que defienden la influencia de la tecnología en la sociedad hablan de impacto, como si la tecnología impactase a la sociedad desde afuera, como si se tratase de un meteorito, en fin, como si la tecnología existiese por fuera de la sociedad. Este es el punto de partida para el determinismo tecnológico, de cuyos laberintos es difícil escapar cuando la tecnología se impone con discursos que generan fascinación y se retroalimentan de las representaciones materiales del progreso. De todas las tecnologías existentes se ha hablado de impacto social, en particular, desde los inventos claves para la industrialización como la máquina de vapor, el telar mecánico y luego el ferrocarril. Los **ludditas** llegaron a destruir máquinas al considerarlas fuente de desempleo y pobreza; la literatura y el cine de ciencia ficción han continuado alimentando esas representaciones fatalistas. Al aparecer las nuevas tecnologías de información y comunicación, tanto las asociaciones optimistas de los artefactos con la idea de progreso como las consideraciones fatalistas han resurgido. Y no es fácil escapar a ello. La tendencia contraria al determinismo tecnológico es precisamente aquella que postula una consideración social de la tecnología. Ya no se habla de efectos o impactos de determinadas tecnologías sino de elaboraciones

y construcciones sociales, las tecnologías son cristalizaciones de relaciones sociales y por tanto, no existen necesariamente determinaciones sino procesos de construcción social de las tecnologías. En las ciencias sociales se ha asociado la obra de Karl Marx al determinismo tecnológico por considerar la maquinaria dentro de los medios de producción y la base económica y el peso de ésta en las relaciones sociales y la organización de la sociedad en clases. Gran parte de esta interpretación depende de aspectos puntuales que los historiadores de la tecnología han observado minuciosamente, como se observa a continuación. Asimismo, ya más en relación con las tecnologías de la información y la comunicación, el determinismo tecnológico se ha asociado a autores como Harold Innis, Marshal Mc Luhan y la escuela canadiense al considerar las tecnologías de los medios de comunicación como determinantes de formas de percepción y sensibilidad en la historia humana, de acuerdo con lo cual habríamos superado la era de la escritura con los medios audiovisuales y estaríamos asistiendo a la era de la imagen. Autores como Wiebe Bijker y Trevor Pynch han defendido la idea de que la tecnología hace parte de las relaciones sociales y en múltiples estudios han mostrado cómo la tecnología es una construcción social. Algunos han llegado a objetar que no todo es relación social, ironizando con expresiones como ¿construcción social de qué?

Lo cierto es que un buen balance del debate lleva a concluir que tecnología y sociedad no son categorías excluyentes, que hay influjos bidireccionales y que en algunos casos se pueden mostrar incidencias sociales de

la tecnología, no necesariamente impactos o efectos, y, por otro lado, también puede demostrarse que los usos sociales han terminado determinando la misma dirección de la tecnología.

En este acápite se presenta una síntesis del debate, con base en breves aportes de los investigadores de la tecnología en general, mostrando cómo se ha ido superando la discusión bizantina de determinismo tecnológico y construcción social, los conceptos intermedios que se han propuesto, la determinación de los enfoques, la reelaboración del mismo concepto de tecnología y el influjo de los discursos optimistas del progreso y los discursos posmodernos fatalistas.

## 1. LA FUENTE DEL DEBATE

Aunque seguramente pueden encontrarse múltiples fuentes para el debate sobre el determinismo tecnológico, los historiadores de la tecnología coinciden en la obra de Karl Marx como la inspiradora de las más encontradas interpretaciones históricas y sociológicas respecto al papel de la tecnología como factor de cambio social. Desde su obra cumbre *El capital* y particularmente el capítulo «Maquinaria y gran industria» hasta obras como *La ideología alemana*, *La miseria de la filosofía* y *La introducción a la crítica de la economía política* suelen ser citadas para corroborar o sustentar tesis a favor o en contra del determinismo tecnológico.<sup>1</sup>

Pasado el tiempo el debate se redimensiona y se puede obtener claridad sobre el consenso y la coincidencia de miradas sobre la obra de Marx. Entre algunos de los elementos de esta convergencia de perspectivas se pueden señalar, de manera introductoria, el hecho de que Marx nunca utilizó el término tecnología y más bien se refirió a maquinaria, medios materiales de producción e industria; todos ellos asociados con lo que hoy se entiende por tecnología. Un segundo elemento a señalar se refiere al tratamiento fragmentario y asistemático dado al influjo social de la tecnología existente en la obra de Marx. Para muchos, lo que ha hecho carrera es la interpretación de ciertos pasajes de la obra de Marx como aforismos, muy expresivos pero no desarrollados sistemáticamente en un planteamiento. En consonancia con ello, un extracto de *La miseria de la filosofía* puede tomarse como el factor detonante del debate: «El molino manual trae la sociedad feudal; el molino de vapor, la sociedad capitalista industrial».<sup>2</sup>

### 1.1. El motor de la historia

«Si partimos del supuesto de que el molino manual «trae» el feudalismo y el molino de vapor el capitalismo, este supuesto sitúa el cambio tecnológico en la posición de principal motor de la historia social». Con esta expresión, Robert L. Heilbroner<sup>3</sup> acoge el aforismo de Marx como una tesis que privilegia el cambio tecnoló-

1. Véase de Marx, Karl. Maquinaria y gran industria. En: *El capital. Crítica de la economía política*. México, FCE, 1977. pp. 302-424.
2. Marx, Karl. *La miseria de la filosofía*. Navarra, Folio, 1999.
3. Heilbroner, Robert L. ¿Son las máquinas el motor de la historia? En: Smith, Merrit Roe, Marx, Leo. (Eds) *Historia y determinismo tecnológico*. Madrid, Alianza, 1996. p. 70.

gico en la historia hasta el punto de considerarlo su propulsor, su motor. A partir de allí, Heilbroner expone los problemas claves que le permitirán afirmar la veracidad del determinismo tecnológico, en primer lugar, por qué la tecnología evoluciona siguiendo la secuencia en que lo hace, y, posteriormente, cómo afecta el modo de producción a la superestructura de relaciones sociales.<sup>4</sup> Las respuestas a tales interrogantes se convierten en argumentos contundentes para los que aporta pruebas sugerentes.

En relación con el primer problema, Heilbroner desarrolla la afirmación según la cual desde el punto de vista tecnológico existe una secuencia de desarrollo que permite hablar de evolución, es decir, puede encontrarse una lógica de desarrollo evolutivo en el tiempo al mirar la sucesión de innovaciones tecnológicas. Señalando su conocimiento consciente de la diferencia entre invención e innovación, en sus propios términos «...no hago caso omiso de la diferencia entre el descubrimiento de una máquina y su aplicación como tecnología»,<sup>5</sup> presenta tres pruebas sugerentes de dicha evolución de la tecnología: la simultaneidad de la invención, la ausencia de saltos tecnológicos y el carácter predecible de la tecnología. La primera prueba se refiere a que los descubrimientos no se dan por sorpresa o de manera aleatoria, sino dentro de una frontera del conocimiento dado, y siguiendo un rumbo secuencial. La segunda prueba, la ausencia de saltos tecnológicos, remite a una mira-

da retrospectiva, en la que se descubre «un perfil uniforme y continuo», es decir, la secuencia se hace evidente en el mediano y largo plazos. La tercera prueba hace referencia al carácter predecible de la tecnología, al hecho de que hacia el futuro puede intuirse con alta posibilidad de acierto los desarrollos evolutivos de la tecnología.<sup>6</sup>

El segundo problema tiene que ver con el cambio social. Existe una influencia social de la tecnología y así lo expresa Heilbroner: «...podemos afirmar realmente que la tecnología de una sociedad impone una determinada pauta de relaciones sociales a esa sociedad».<sup>7</sup> De dicha influencia se pueden corroborar al menos dos tipos, sobre la composición de mano de trabajo y sobre la organización jerárquica del trabajo. El primer tipo de influencia se explica por la determinación que impone la tecnología sobre la composición de la mano de trabajo. Cada tecnología crea requisitos para una mano de obra específica y apropiada, así la maquinaria industrial ha creado la necesidad del obrero y sus requisitos de operario semicalificado. La influencia sobre la organización jerárquica del trabajo se entiende si se mira cómo de la división del trabajo resulta la necesidad de más jerarquías de coordinación y supervisión, que se hacen más complejas en la medida en que aumente la división del trabajo. Estas influencias resultan evidentes, pero lo que no aparece tan claro son las influencias sobre otros factores sociales. Para

4. Véase *Ibíd.* pp. 70-71.

5. *Ibíd.* p. 71

6. Véase *Ibíd.* pp. 71-74.

7. *Ibíd.* p. 75.

estos casos, la influencia unilateral de la tecnología no se sostiene y se precisa hablar de influencia mutua o bidireccional, en otros términos, la maquinaria refleja y moldea relaciones sociales.<sup>8</sup>

En dirección de la influencia bidireccional, Heilbroner destaca los condicionamientos sociales de la tecnología. En primer lugar, el progreso tecnológico es en sí mismo una actividad social, prueba de ello es el hecho de que el descubrimiento, la invención y la innovación se presentan más en unas sociedades que en otras. En otro sentido, el rumbo tecnológico es sensible al rumbo social dado que la política social influye en la promoción y avance de la innovación tecnológica, es decir, esta última depende de incentivos sociales. De otra parte, el cambio tecnológico debe ser compatible con las condiciones sociales existentes, por ejemplo, no resultaría aconsejable una técnica de producción en serie en una sociedad que no tuviera mercado de masas.<sup>9</sup>

Tras mostrar esta influencia bidireccional entre tecnología y sociedad, Heilbroner opta por devolver a la tecnología una influencia considerable, susceptible de ser estudiada y explicitada, sobre todo por su importancia para entender la lógica del capitalismo. En términos precisos, el capitalismo ha constituido un enorme estímulo para el avance de la tecnología dados los criterios de productividad que orientan la innovación tecnológica, pero, asimismo, el sistema

de mercado le ha dado a la tecnología un aspecto «automático»: «...tanto la aparición de la tecnología como su proliferación asumieron los atributos de una «fuerza» difusa e impersonal que influía en la vida social y económica, debido sobre todo a que la ideología del *laissez faire* vigente impedía el control político necesario para amortiguar sus consecuencias negativas».<sup>10</sup>

En el mismo sentido, la aparición y consolidación de la ciencia le ha dado un impulso a la tecnología, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XIX, y a partir de allí, ha cobrado una fuerza imperiosa, a tal punto que todo parece estar determinado por una fuerza autónoma y misteriosa que cobra realidad cuando se le señala como causa o motor de la vida moderna, en una palabra, se impone de manera determinante, como determinismo tecnológico:

«El determinismo tecnológico es, pues, especialmente un problema de una determinada época histórica -concretamente la de alto capitalismo y bajo socialismo- en la que se han desatado las fuerzas del cambio técnico, pero en la que aún son rudimentarias las agencias para controlar y orientar la tecnología».<sup>11</sup>

## 1.2. Determinismo blando

En un ensayo reciente, Robert Heilbroner<sup>12</sup> reconsidera su noción de determinismo tecnológico con el intento de lograr una reducción sistemática explicativa a «la complejidad de la

8. Véase *Ibid.* p.77.

9. Véase Heilbroner, *Ibid.* pp. 78-79.

10. *Ibid.* p. 80.

11. *Ibid.* p. 81.

12. Véase Heilbroner, Robert L. Reconsideración del determinismo tecnológico. En: Smith y Marx, op. cit. Pp. 83-94.

causa en la simplificación del efecto», es decir, pasar de afirmar que las máquinas son el motor de la historia a mostrar cómo o de qué modo lo son, a hacer evidente su influencia de tal manera que permita hacer generalizaciones.

El primer argumento que utiliza Heilbroner para mostrar cómo la tecnología determina a la sociedad lo encuentra en la economía. En el capitalismo prevalece una actitud que orienta la conducta de los agentes sociales y es el modo de pensar adquisitivo, lo que los economistas denominan principio de maximización. En la sociedad de mercado todo es valor de cambio, la racionalidad costo-beneficio involucra todas las actividades. Las innovaciones tecnológicas se ofertan al mercado y, por tanto, se orientan por el criterio de maximización llámese eficacia, progreso técnico o saldo favorable de la relación costo-beneficio. Este determinismo económico del capitalismo constituye la mediación con que la tecnología influye socialmente y así lo expresa Heilbroner: «Por lo tanto, el campo de fuerzas de la maximización nos permite elucidar la manera en que las máquinas son el motor de la historia mostrando el mecanismo mediador por el que los cambios de la tecnología influyen en la organización del orden social».<sup>13</sup>

La influencia mediada de tecnología a través del principio de maximización en el capitalismo explica la lógica mediante la cual la tecnología se impone y adquiere un halo determinista, pero esto no niega que en sociedades precapitalistas no se pueda

descubrir dicha influencia. Hay influencias importantes en períodos históricos del pasado, pero en ellas la tecnología no tiene la contundencia que sí le aporta la lógica de ser un valor de cambio y estar orientado por la maximización de la ganancia, propias del capitalismo. En sociedades precapitalistas, si hay influencia ésta no está mediada por la conducta económica. Ahora bien, el predominio del principio de maximización en la conducta económica propia del capitalismo no excluye un margen de indeterminación, es decir, las regularidades de la conducta no anulan motivaciones diferentes a la maximización, pero, de hecho, las subsume: «El determinismo tecnológico pasa entonces a postular que el modo de pensar adquisitivo es un motivo regular y fiable, al menos en sociedades coordinadas por el mercado».<sup>14</sup>

Desde la perspectiva de una influencia de la tecnología mediada por la conducta económica, Heilbroner relativiza dicha influencia y afirma la presencia de niveles o grados de determinismo. No se habla, entonces, de influencia de la maquinaria por sus características físicas como artefactos de producción en serie. La influencia «se encuentra en la traducción de las consecuencias técnicas de la producción en serie en los estímulos económicos, formados por las grandes variaciones del coste por unidad de producción, traducción que hace visible el campo de las fuerzas de la maximización al que está expuesta la actividad en la esfera del mercado del capitalismo».<sup>15</sup>

13. *Ibíd.* p. 89.

14. *Ibíd.* p. 90.

15. *Ibíd.* p. 91.

En este sentido, esta determinación mediada sigue siendo determinista pero en otro grado. La especificidad de éste se ilustra de manera comparativa: maquinaria introducida en sociedades diferentes no produce el mismo resultado, razón que permite afirmar que no hay determinismo físico de las máquinas, sólo hay determinismo dada la mediación de la lógica del capital: «...la tecnología es el sirviente, no el amo, de su correspondiente sistema de directrices sociopolíticas».<sup>16</sup> El caso más palpable es la industrialización soviética cuyos resultados hubieran sido otros de estar mediada por los principios de maximización de la producción en serie del capitalismo.

Pero, aun así, el carácter de regularidad que aporta el principio de maximización a la explicación determinista no constituye una ley. Existe un margen de indeterminación, en cuyo caso, algunos elementos hacen laxo o blando dicho determinismo, y entre esos elementos «blandos» pueden contarse tanto elementos volitivos como los gajes de la propia maximización. En el primer caso, se trata de decisiones políticas, actitudes sociales, novedades, modas culturales, y en cuanto a los gajes está la aversión al riesgo y juicios similares sobre las expectativas racionales.<sup>17</sup> Heilbroner enfatiza su conclusión en una perspectiva comprensiva del determinismo blando: «En la medida en que la economía constituye la fuerza motivadora más poderosa y presente y la

única a la que puede atribuirse regularidades de conducta, me parece que la perspectiva del determinismo blando es la que nos permitirá con mayores posibilidades comprender los procesos de la historia en los que estamos inmersos».<sup>18</sup>

## 2. CRITERIOS SEMÁNTICOS

El debate sobre determinismo tecnológico se enriquece con nuevos aportes, en esta oportunidad, provenientes de las tesis de Bruce Bimber.<sup>19</sup> Su afirmación inicial se centra en el mismo concepto *determinismo tecnológico* ya que, en términos semánticos, dicho término resulta confuso. Para ello, Bimber somete a dicho término a dos pruebas semánticas: el determinismo tecnológico debe ser nominalmente determinista y nominalmente tecnológico. En el primer caso ello supone retomar qué significa determinismo y la respuesta está en que esto sucede cuando leyes, condiciones físicas o biológicas determinan la historia. En este sentido, la voluntad del hombre o la acción humana en la configuración de la historia tendrían poca relevancia. De otro lado, nominalmente tecnológico significa que la tecnología incide en los acontecimientos que determinan el futuro. En síntesis, para que pueda hablarse claramente de determinismo tecnológico, el término debe cumplir esas dos condiciones o criterios.<sup>20</sup>

En esta perspectiva semántica, las tesis de determinismo blando de Heilbroner no pasan la prueba como de-

16. *Ibíd.* p. 96.

17. Véase *Ibíd.* p. 94.

18. *Ibíd.* p. 94.

19. Al respecto véase de Bimber, Bruce. *Tres caras del determinismo tecnológico*. En: Smith y Marx, op. cit. pp.95-116.

20. Véase *Ibíd.* pp. 102-103.



terministas, ya que los elementos blandos, volitivos o propios de la conducta económica de maximización son, finalmente, acciones humanas y, por tanto, no tecnológicas.

En dicha indagación semántica, Bimber se interroga sobre el significado de *tecnología*. La primera asociación con este término radica en la identificación de la tecnología con artefactos, posteriormente se hace inclusivo e involucra procesos, conocimientos y sistemas de organización y control. Esta definición inclusiva de tecnología resulta útil en algunos contextos pero perjudicial cuando se habla de determinismo tecnológico, dado que «algunos factores como los conocimientos y las formas de organización social son importantes rasgos distintivos de las sociedades, tratarlas como rasgos de la tecnología es mezclar las causas con los efectos».<sup>21</sup>

En este sentido, resulta mejor devolver al concepto de tecnología su significado de artefacto físico, máquinas y elementos materiales, aspectos que en principio no son sociales y cumplen el requisito excluyente de ser una categoría, para poder ver las relaciones tecnología y sociedad que están en el fondo del concepto determinismo tecnológico, pues, de otra manera, dichas relaciones se volverían indistinguibles y con esto «..se llega a la conclusión de que el cambio social depende, en parte, de factores sociales».<sup>22</sup> Sobra decirlo, de tal manera no habría determinación de la tecnología sobre la sociedad.

## 2.1. El determinismo tecnológico como explicación nomológica.

Entre las múltiples perspectivas a las que puede asociarse con determinismo tecnológico, Bimber distingue tres: la explicación nomológica, la explicación normativa y la explicación por las consecuencias imprevistas. La explicación nomológica, de acuerdo con lo planteado en las consideraciones semánticas, atribuye a la tecnología un carácter de regularidades asimilables a leyes, que determinan la sociedad. G. A. Cohen, Richard Miller y Robert Heilbroner coinciden en esta visión de la tecnología, tras interpretar de manera determinista la obra de Marx. Para Cohen, la maquinaria ejerce una influencia causal; para Miller, las estructuras se adaptan al cambio tecnológico. En el primer ensayo de Heilbroner, *Son las máquinas el motor de la historia*, hay planteamientos similares, como ya se ha mostrado.

Por ser los tres autores mencionados intérpretes de la obra de Marx, conviene retomar la fuente del debate. Bimber examina el materialismo histórico de Marx y le plantea un test de dos condiciones que debe cumplir para que las interpretaciones deterministas resulten ciertas: el cambio social debe ser determinado causalmente por fenómenos o leyes anteriores y, como segundo criterio, «...que la lógica de estas leyes dependa necesariamente de características de la tecnología o que éstos sean su vehículo».<sup>23</sup>

21. *Ibid.* pp. 103-104.

22. *Ibid.* p. 104.

23. Bimber, *op. cit.* p. 106.

A partir de esto, surgen varios problemas de interpretación, entre ellos, si el determinismo tecnológico devienen de un determinismo económico y el lugar que ocupa la tecnología en las tesis de Marx. Algunas interpretaciones de Marx conducen al determinismo económico dado el énfasis puesto en la infraestructura económica como determinista de la base social y la superestructura política y cultural. A diferencia del determinismo tecnológico, en este determinismo pesan más los recursos naturales, la organización económica, el trabajo productivo y la lógica del valor de cambio, no solamente los medios de producción, entre los que se incluiría la tecnología. Apoyado en múltiples críticas de este enfoque, Bimber refuta las interpretaciones que ven determinismo económico en Marx ya que el poder de clase o las decisiones políticas pueden cambiar el curso del desarrollo social.<sup>24</sup>

Respecto del lugar que ocupa la tecnología en las fuerzas productivas, se requiere una revisión de los conceptos claves en la obra de Marx. En *El capital* se mencionan como fuerzas productivas la actividad de las personas, los sujetos de trabajo y los instrumentos de trabajo. En términos más claros, las fuerzas productivas involucran medios de producción y fuerza de trabajo. En esta última se incluyen las facultades humanas presentes en el esfuerzo productivo: fuerza, conocimientos, inventiva, etc. Entre los medios de producción, las

materias primas, los espacios y los instrumentos. La tecnología se incluiría en estos últimos como maquinaria.<sup>25</sup> Desde la perspectiva determinista, esta última sería autónoma e independiente de los procesos sociales, pero Bimber subraya todo lo contrario. La introducción de la maquinaria depende de procesos sociales previos, de la organización social, la especialización y la acumulación de la riqueza.<sup>26</sup> El adjetivo que Marx da a la tecnología no es el de autónoma sino instrumental, la tecnología es un instrumento usado estratégicamente por un agente social: «Este uso instrumental por parte de la burguesía para sus propios fines hace que la tecnología sea importante en la fase capitalista de la historia. La propia tecnología no causa la lucha de clases resultante ni la necesita».<sup>27</sup>

Tras este balance, las interpretaciones de la obra de Marx no satisfacen los criterios que permitirían hablar de determinismo tecnológico. El cambio tecnológico no es necesariamente el factor principal en el capitalismo, la tecnología es más un factor instrumental en la economía capitalista y resultan más importantes factores asociados con el trabajo: división del trabajo, jornada laboral y alienación. La tecnología resulta importante «debido a la manera en que facilita el aumento del proceso de acumulación de capital que ya tiene lugar».<sup>28</sup> Es más, un ejemplo de su escaso peso se puede ver al hacer pruebas de referencia empírica a afirmaciones deter-

24. Véase *Ibid.* pp.107-108.

25. Véase Marx, Karl. Maquinaria y gran industria. En: *El capital*. op. cit.

26. Véase Bimber, op. cit. pp. 111.

27. *Ibid.*

28. *Ibid.* p. 114.

ministas como la disminución de la jornada laboral resultante de la introducción de innovaciones tecnológicas. En realidad, el efecto de la automatización del proceso productivo ha sido el alargamiento de la jornada laboral, dado que los propietarios tratan de compensar el aumento del tiempo para aumentar aún más la capacidad productiva. En resumidas cuentas, el materialismo histórico no cumple los requisitos de una explicación nomológica determinista.

## 2.2. Otras explicaciones no deterministas

Otras perspectivas sobre la influencia de la tecnología en la sociedad moderna suelen asociarse con posiciones de determinismo tecnológico. La más radical es la de Jacques Ellul para quien la tecnología va más allá de la técnica y constituye la dominación de la vida por los criterios de la lógica y la eficiencia: «La eficiencia y la técnica como sustitutos de las normas y juicios cargados de valor, conducen a la sociedad tecnológica».<sup>29</sup> La noción de tecnología de Ellul aparece dotada de un inmenso poder de determinación hasta convertirse en fuente autónoma, sin embargo, habría que recordar que la lógica y la eficiencia son procedimientos y valoraciones humanos, y no hacen parte directa de los artefactos tecnológicos.<sup>30</sup>

En un sentido similar, las tesis de autores como Jurgen Habermas y

Herbert Marcuse parecieran ser deterministas, en el caso de Marcuse cuando éste destaca la vida unidimensional del hombre contemporáneo fruto de la racionalidad tecnológica, y en el caso de Habermas, dada su afirmación sobre la dependencia excesiva de criterios de eficiencia y productividad en la vida moderna capitalista.<sup>31</sup> Los argumentos de Habermas son el reduccionismo ético que funciona de manera independiente de los contextos generales de la ética y la política, una racionalidad instrumental impulsada por el subsistema social de los tecnólogos y una sensación de aquiescencia total dado que pareciera que la sociedad entera asume como propios los criterios de los tecnólogos. Al respecto Bimber subraya que la dependencia señalada por Habermas es de normas, creaciones humanas, y no de la propia tecnología: «Habermas sugiere que la tecnología puede considerarse autónoma y determinista cuando las normas mediante las cuales progresa se eliminan del discurso político y ético y cuando los objetivos de la eficiencia y la productividad se convierten en sustitutos de los debates sobre los métodos, las alternativas, los medios y los fines basados en valores».<sup>32</sup>

Tanto las orientaciones radicales de Ellul, como las consideraciones de Marcuse y Habermas sobre la ideología y la racionalidad tecnológica son explicaciones no deterministas. Se sustentan en argumentos de normas,

29. Bimber, op. cit. p. 98.

30. Véase Ellul, Jacques. *El siglo XX y la técnica*. Barcelona, Labor, 1960.

31. Para ver el debate sobre la racionalidad tecnológica en autores como Weber, Marcuse y Habermas y su contextualización a las nuevas tecnologías de la información y comunicación véase de Chávarro, Luis Alfonso. *La racionalidad tecnológica o la lógica de la velocidad*. Ponencia presentada en la I Jornada sobre las Humanidades en la Universidad, su presente y su futuro. Cali, Memorias CUAO, 2002.

32. Bimber, op. cit.

valores, en la disociación de la racionalidad instrumental respecto de la racionalidad normativa y por ello se pueden denominar explicaciones normativas.

Otra perspectiva que puede dar lugar a determinismo tecnológico es la planteada por Langdom Winner en su obra *Tecnología autónoma*. Según Winner,<sup>33</sup> la tecnología parece haber desarrollado mecanismos propios que escapan al control humano y generan sensaciones de incertidumbre y riesgo. Bimber denomina esta perspectiva como explicación por consecuencias imprevistas, ya que su fundamento radica en la incapacidad de prever y controlar los resultados del desarrollo tecnológico. Para ello acude al ejemplo de Winner sobre la contaminación, resultado inesperado de la introducción y uso generalizado del automóvil.<sup>34</sup>

### 3. EL IMPULSO TECNOLÓGICO

El debate sobre el determinismo tecnológico se enriquece aún más con el ensayo *El impulso tecnológico* de Thomas Hughes.<sup>35</sup> Este autor propone un concepto que zanje la polaridad entre determinismo tecnológico y construcción social y dé cuenta de la relación bidireccional entre tecnología y sociedad, es decir, que muestre cómo el desarrollo social configura y es configurado por la tecnología. Hughes descarta la reducción del término tecnología a artefactos físicos y prefiere hablar de tecnología como sistemas tecnológicos o sociotécnicos. Entre lo

social incluye instituciones, valores, grupos de intereses, clases sociales y fuerzas políticas y económicas, y aclara que en un sistema tecnológico está involucrado tanto lo técnico como lo social. Allende estaría el entorno, el mundo situado fuera de los sistemas tecnológicos «que los configura o es configurado por ellas».<sup>36</sup>

Su ensayo involucra los resultados de sus trabajos empíricos sobre el sistema eléctrico Ebasco, al que considera un tipo de sistema tecnológico, es decir, un sistema social con un núcleo técnico.

#### 3.1. Perspectiva determinista

Analizar un sistema tecnológico como el sistema eléctrico, en la perspectiva determinista, implicaría mirar cambios sociales como resultado o fruto de las innovaciones propias del sector eléctrico. En este sentido, se hablaría de la transformación de la calle por la iluminación nocturna, de los cambios del hogar por la luz doméstica y el uso de electrodomésticos. Lo mismo en la empresa, cambios individuales por el uso de motores eléctricos, o en la ciudad y el campo, por los tendidos de las redes eléctricas. Los cambios atribuidos al sistema eléctrico se suelen denominar reorganización fordista de la fábrica, la sociedad del ocio nocturno, la independencia de la mujer y su reducción del trabajo doméstico, etc.<sup>37</sup> Ante esto, ¿cabe admitir que las transformaciones mencionadas son resultado del impacto de la energía eléctrica? Ad-

33. Véase Winner, Langdom. *Tecnología autónoma*. Barcelona, Gustavo Gili, 1979.

34. Véase Bimber, op. cit. p. 101.

35. Hughes, Thomas P. *El impulso tecnológico*. En: Smith y Marx, op. cit. pp. 117-130.

36. Véase *Ibid.* p. 122.

37. Véase *Ibid.* p. 122.

mitirlo sería adoptar una perspectiva determinista.

### 3.2. La perspectiva de la construcción social y el marco tecnológico

Una orientación contraria a la perspectiva determinista la han desarrollado Wiebe Bijker y Trevor Pinch, y la denominan **construcción social**. Esta supone que las fuerzas sociales y culturales determinan el cambio técnico. En un trabajo bastante especializado, Bijker desarrolla el concepto **marco tecnológico** para fundamentar la visión de la construcción social.<sup>38</sup> Este concepto se centra en los significados que los grupos sociales atribuyen a un artefacto y la gramática que se desarrolla alrededor de dicho artefacto, y puede utilizarse para explicar cómo el ambiente social estructura el diseño de un artefacto. El ejemplo utilizado por Bijker es la bicicleta, artefacto cuyo diseño final dependió de las prácticas de uso de sus posibles consumidores, los jóvenes, y en ese sentido, se desarrolló la bicicleta resistente «para machos», a diferencia de la «máquina insegura», determinada por los consumidores mujeres y ancianos.<sup>39</sup>

La fuerte convicción que se deriva de los trabajos de los constructivistas sociales es puesta en duda por Hughes, para el caso del sistema eléctrico Ebasco. Según él, los constructivistas explicarían el desarrollo de las empresas eléctricas por factores externos, fuerzas económicas, reglamentaciones municipales, los precios de propiedad inmobiliaria urbana.

Como efecto de estas fuerzas sociales, el sector eléctrico tendría que haberse desplazado de los centros urbanos y desarrollado sistemas de interconexión flexibles, en esencia, el sector eléctrico estaría determinado por lo social. Hughes admite que ello puede ser cierto pero sólo parcialmente, y para ello acude a un concepto intermedio: el impulso tecnológico.

### 3.3. Perspectiva sistémica del impulso tecnológico

Habiendo advertido que el impulso tecnológico trata de mostrar cómo la tecnología configura la sociedad y, a su vez, es configurada por ésta, y que el sistema tecnológico involucra lo social con un núcleo técnico, Hughes muestra, en consonancia, que el sistema eléctrico Ebasco configuró la sociedad y fue configurado por ella. Lo que marca la diferencia es un indicador clave, el tiempo: a menor tiempo, mayor determinación del medio social sobre el sistema tecnológico, a mayor tiempo, el sistema tecnológico determina el medio social: «A medida que el sistema de Ebasco fue siendo mayor y más complejo y, por tanto, cobrando impulso, el sistema fue siendo cada vez menos configurado por su entorno y convirtiéndose en el elemento que más configuraba el entorno».<sup>40</sup>

En definitiva, ¿qué es el **impulso tecnológico**? Es la durabilidad y la propensión al crecimiento que aporta el sistema tecnológico. El crecimiento, resultado de la maduración en el tiempo, muestra que los sistemas, a

38. Véase Bijker, Wiebe. La construcción social de la baquelita. Hacia una teoría de la invención. En: López Cerezo, José A. Et al. *Ciencia, tecnología y sociedad*. Barcelona, Ariel, 1997. pp.101-129.

39. Véase Bijker, op. cit. pp. 114-115.

40. Hughes, Op.cit. p. 124.

medida que son mayores y desarrollan complejidad, tienden a configurar la sociedad y a ser menos configurados por ella. Aciertan los constructivistas sociales cuando el sistema tecnológico es pequeño y reciente, éste será determinado por la sociedad; también aciertan los deterministas, cuando un sistema tecnológico es enorme y complejo, éste determina a la sociedad. El concepto impulso tecnológico aporta un elemento muy importante para la comprensión de la historia de la tecnología en la perspectiva de los grandes sistemas.<sup>41</sup>

#### 4. EL DETERMINISMO DETERMINADO POR EL ENFOQUE

Otro aporte de gran importancia sobre el debate referente al determinismo tecnológico es el de Thomas Misa<sup>42</sup> y radica fundamentalmente en el tipo de enfoque. De acuerdo con las perspectivas que se adoptan para investigar la influencia de la tecnología en la sociedad, se está expuesto a ser determinista o no y, por el contrario, si se adopta la perspectiva micro el determinismo desaparece. Misa pretende superar los límites de los dos enfoques en aras de no renunciar a la inteligibilidad de los procesos: «La dicotomía micro/macro ha servido, de una manera casi invisible, para presentar de una forma sesgada las interpretaciones que han hecho los historiadores de muchos períodos significativos».<sup>43</sup>

#### 4.1. El enfoque macro

Las miradas estructurales globales y a largo plazo constituyen el enfoque macro. En estas visiones de conjunto los cúmulos de detalles se desvanecen para mostrar un perfil definido de los eventos, los agentes y los factores de cambio. En este sentido, el enfoque macro no depende sólo del tamaño de la unidad de análisis, los actores involucrados como agentes parecen más racionales<sup>44</sup> y las relaciones que dan lugar a los factores parecen articularse mejor. El lente telescópico induce a hacer inferencias deterministas y un ejemplo de ello está en el mismo Marx. Cuando hace afirmaciones gruesas en los aforismos de *La miseria de la filosofía* resulta determinista, la maquinaria se vuelve factor de transformación, pero en el análisis micro de otras obras la maquinaria deviene en transformadora por el uso instrumental de unos agentes o actores específicos, es decir, no lleva necesariamente al determinismo tecnológico. De acuerdo con esto, Misa se refiere a la interpretación determinista que hace Heilbroner de la obra de Marx: «Las máquinas son el motor de la historia cuando los analistas adoptan perspectivas macro, mientras que los procesos históricos son el motor de las máquinas siempre que los analistas adopten perspectivas micro y despojen a las máquinas de su capacidad para aparecer como la causa del cambio social».<sup>45</sup>

41. Véase Ibid. pp. 127-129.

42. Véase Misa, Thomas J. *Rescatar el cambio sociotécnico del determinismo tecnológico*. En Smith y Marx, op. cit. pp. 131-157.

43. Ibid. 137.

44. Véase Ibid. p. 134-235.

45. Ibid. p. 140.

#### 4.2. El enfoque micro

La perspectiva micro, más utilizada por los historiadores sociales, tiende a favorecer la continuidad sobre el cambio. Como en una pintura puntillista, la mirada precisa y cercana reúne datos pero no aparecen claros los perfiles de los agentes, sus acciones involucran lo racional y lo afectivo. Estos perfiles sólo se intuirán al tomar distancia y aventurar una mirada de conjunto. Ante la multiplicidad de datos, esa sensación de dificultad para hacer mínimas generalizaciones y propia de los estudios micro lleva a eludir afirmaciones gruesas y más cuando tienen que ver con influencias desestructurantes y transformadoras. Esta actitud resultante de los estudios especializados es saludable en muchos casos ya que los cambios no se dan tan frecuentemente en la historia, pero puede conducir a una renuncia cómoda a la inteligibilidad y a la necesidad de comprensión: «La precisión y la veracidad no aumentan necesariamente conforme disminuye la escala. Las grandes verdades y pautas pueden ser tan precisas como las pequeñas observaciones y verdades».<sup>46</sup>

#### 4.3. El enfoque mezo

Para zanjar la dicotomía entre lo macro y lo micro, Misas propone un nivel intermedio, el enfoque mezo. Si el enfoque micro privilegia los agentes y el enfoque macro la sociedad, el enfoque mezo debe abordar las instituciones que «median entre los agentes y la sociedad», son instituciones

intermedias entre la empresa y el mercado o entre el individuo y el Estado.<sup>47</sup> En el mismo sentido, el concepto de tecnología como maquinaria se debe ampliar hasta abarcar las redes sociotécnicas o grupos sociales vinculados a la tecnología y que puede incluir organizaciones de fabricantes, organismos encargados de fijar estándares, ingenieros, organismos públicos, consultores, exportadores o importadores, inversores, etc; todos ellos portadores de una opinión pública influyente, activadora o desactivadora del cambio, especialmente, en relación con costos, eficiencia y expectativas de crecimiento.<sup>48</sup> En síntesis, el nivel *nesso* de Misa se centra en redes sociotécnicas, y recuerda el componente social del sistema tecnológico de Hughes, pero, asimismo, logra el cometido de un concepto que permite mayor comprensión que la dicotomía macro-micro: «En la medida en que los individuos son parte necesaria de las redes, decir que la «tecnología» es la causa del cambio social es decir en realidad que los individuos son la causa del cambio social a través de las redes sociotécnicas que crean y mantienen. Explicar, comprender y gestionar estas redes es la tarea que tenemos ante nosotros».<sup>49</sup>

#### 5. ¿QUÉ ES LA TECNOLOGÍA?

Hasta aquí se ha observado la variedad de orientaciones teóricas que convergen en la relación tecnología y sociedad y que pretenden indagar sobre la posibilidad de hacer afirmacio-

46. William Mc Neill, citado en la nota 21 en *Ibíd.*, p. 154.

47. Véase Misa, *op. cit.* pp. 155-157.

48. Véase *Ibíd.* pp. 155-157

49. *Ibíd.* p. 157.

nes válidas sobre la veracidad del determinismo tecnológico, de la construcción social o de matices bidireccionales. Asimismo, se han mostrado las diversas concepciones y transformaciones del significado de tecnología, de acuerdo con el enfoque teórico. Sobre esto último se puede enfatizar que de dicho debate resaltan las definiciones de tecnología como artefactos físicos o maquinaria,<sup>50</sup> la de tecnología como procesos, conocimientos y sistemas de organización y control<sup>51</sup> y la tecnología como sistema<sup>52</sup> o redes.<sup>53</sup> Sin embargo, tras todo esto queda el interrogante sobre la construcción social del significado de tecnología, cómo llegó el concepto a significar lo que hoy se entiende por él. Responder este interrogante es el cometido de este acápite.

### 5.1. Orígenes y comienzos del concepto tecnología

Tras realizar una pesquisa documental por diferentes períodos de la historia acerca del término *tecnología*, Leo Marx<sup>54</sup> refiere que dicho término se utilizó por primera vez hacia 1615 con un significado asociado a discursos sobre las artes prácticas, tal como consta en el *Oxford English Dictionary*.<sup>55</sup> La palabra se deriva del griego *techné* que significa arte y oficio. Transcurrido el siglo XVII el término tecnología apunta a discursos o tratados técnicos, sin embargo, hasta finales del siglo XIX es raras veces uti-

lizado. En 1859 R.F. Burton lo usa como equivalente de artes prácticas colectivas. Es necesario resaltar que pensadores influyentes como Karl Marx y Arnold Toynbee jamás utilizaron el término. Marx utiliza el concepto *maquinaria* y Toynbee lo hace con *sistema fabril*. Entre los pensadores sociales sería Thorstein Veblen el primero en emplear el concepto *tecnología* hacia 1904.<sup>56</sup>

En el siglo XX, el término tecnología se usa de manera corriente luego de la Segunda Guerra Mundial, y tal vez, desde un poco antes, luego de la Gran Depresión de 1929.<sup>57</sup> Tras estas pistas, Leo Marx indaga sobre las razones históricas de la aparición del término tecnología. Sus comienzos están ligados con el auge de la idea de *progreso*, en un comienzo referentes, como ya se ha mostrado, a las artes mecánicas. Ligadas a las representaciones sociales de hostilidad al trabajo manual, las artes mecánicas evocaban una asociación con lo sucio e impuro. Por ello, había que buscar un concepto abstracto y neutral apropiado para mostrar los avances de la historia, es decir, un término en consonancia con los ideales del progreso: «El término *artes mecánicas* evoca la imagen de hombres con las manos sucias chapuceando con máquinas en los bancos de trabajo, mientras que la *tecnología* evoca imágenes de técnicos limpios, mirando fi-

50. Véase Bimber, op. cit. pp. 103-104.

51. Véase *Ibíd.*

52. Véase Hughes, op. cit. pp. 118-119.

53. Véase Misa, pp. 155-157.

54. Véase Marx, Leo. *La idea de la «tecnología» y el pesimismo postmoderno*. En: Smith y Marx, op. cit. pp. 253-273.

55. Véase *Ibíd.* nota 12, p. 263.

56. Véase *Ibíd.* p. 263.

57. Véase *Ibíd.* p. 264.



jamente diales, paneles de instrumentos o monitores de ordenador». <sup>58</sup>

De acuerdo con lo anterior, la tesis de Leo Marx se refiere al surgimiento del término tecnología como una depuración de las asociaciones con el trabajo manual propias de las artes prácticas. En el primer siglo de la industrialización proliferan discursos donde se atribuye a las máquinas el cambio social y algunos artefactos se convierten en la imagen de la época: la máquina de vapor, la locomotora, el telégrafo. Thomas Carlyle es el primero en hablar de la «era de la maquinaria» en su ensayo testimonial *El signo de los tiempos*. <sup>59</sup>

En la segunda mitad del siglo XIX se imponen grandes y complejos sistemas tecnológicos como el ferrocarril, y luego, la electricidad y el teléfono, que desvirtúan el uso del concepto «artes mecánicas» y facilitan el uso del término abstracto tecnología: «En la época en que se introdujo la energía eléctrica y la química y en que estos enormes sistemas fueron sustituyendo a los artefactos discretos, a las herramientas simples o a algunos artillugios como forma material característica de las «artes mecánicas», este último término también fue sustituido por una nueva concepción: la «tecnología». <sup>60</sup>

## 5.2. La tecnología en los discursos y la ideología del progreso

Una de las asociaciones más frecuentes con el término tecnología es la idea

de progreso, hasta el grado de ser una representación social en las mentalidades colectivas. El origen de esta representación social hay que buscarlo en los discursos que empezaron a circular a finales del siglo XVIII y durante todo el siglo XIX, de acuerdo con lo señalado por Merrit Roe Smith. <sup>61</sup> La idea de progreso se sustenta en que la historia avanza hacia fases de mayor desarrollo productivo y bienestar y la causa de ese avance es la introducción creciente de maquinaria o tecnología. Como se observa, en la idea de progreso está implícito el determinismo tecnológico. La celebración de la ciencia y la consideración de la tecnología como fuerza liberadora hacen parte de la herencia intelectual de la Ilustración. La misma *Enciclopedia* de Diderot, como lo muestra Leo Marx, «...es casi un manual de tecnología, la mayoría de ellas de origen moderno». <sup>62</sup>

Los discursos del progreso empiezan a circular en Europa, pero al llegar a Estados Unidos encuentran el terreno más fértil hasta el punto de convertirse en ingrediente fundamental de la cultura americana. Las fuentes intelectuales de estos discursos del progreso en Estados Unidos están en la visión republicana de B. Franklin y T. Jefferson, y un poco más tarde, en la visión tecnocrática de A. Hamilton y T. Coxe. <sup>63</sup> En la visión republicana, las tecnologías mecánicas implicaban satisfacción de las necesida-

58. *Ibíd.* p. 259.

59. Véase *Ibíd.* p. 260.

60. *Ibíd.* p. 261.

61. Véase Smith, Merrit Roe. *El determinismo tecnológico en la cultura de Estados Unidos*. En: Smith y Marx, op. cit. pp. 19-52.

62. Marx, Leo. Op. cit. Nota 3 p. 256.

63. Véase Smith, Merrit Roe. Op. cit. pp. 22-23.

des espirituales de los ciudadanos, mientras que en la visión de Coxe el desarrollo tecnológico está ligado al establecimiento de la ley y el orden ante la inestabilidad de la economía política.<sup>64</sup>

En el siglo XIX se produce una enorme oleada de socialización de la idea de progreso, impulsada por la aceleración del ritmo del cambio técnico expresado en el uso generalizado del ferrocarril, el barco de vapor, y más tarde, la telegrafía y la electricidad. Los principales difusores de los discursos del progreso son los periodistas, los oradores populares y los políticos. Posteriormente, el mundo editorial registra la proliferación de obras de escritores que hacen de las tecnologías el símbolo del progreso, en títulos tan dicentes como *Los hombres del progreso*, *Triunfos y maravillas del siglo XIX*, *Nuestro maravilloso progreso*, *Las eras progresivas o triunfos de la ciencia* o *Las maravillas del mecanismo moderno*, entre otros. Hacia finales del siglo XIX, la creencia en los avances tecnológicos y su determinación en el bienestar humano ya es un dogma.<sup>65</sup>

Otros circuitos de circulación de estos discursos son las ilustraciones en artes populares, las imágenes de la publicidad profesional y la propaganda, a través de los impresos, la radio y, finalmente, la televisión: «Utilizando los conceptos psicológicos de asociación y sugestión, convenientemente presentados en coloridos y concisos reclamos que suscitaban imáge-

nes mentales, los publicistas alentaban a la población a creer que la tecnología interpretada en un sentido amplio configuraba la sociedad, y no al revés».<sup>66</sup>

Mediante esta utilización estratégica de los enclaves de la opinión, lo que se promovía era la ideología del progreso o propaganda tecnocrática. La tecnología ya no era sólo la causa del bienestar del hombre sino que se había convertido en una panacea para los problemas de la vida diaria, haciendo parte de la cultura popular y del estilo de vida americano.<sup>67</sup> A pesar de ello, en la literatura americana afloró la crítica del pensamiento tecnocrático centrado en la visión unilineal de la historia y determinado por la tecnología. El mismo Thomas Jefferson había expresado sus cuestionamientos a la introducción del sistema fabril. Escritores como Emerson, Hawthorne y Melville también expresaron su distancia, lo mismo que Mark Twain en *Un yankee en la corte del rey Arturo*. A Emerson se deben expresiones como «Qué han hecho estas artes por la valía de la humanidad». También Thoreau expresaba en su obra *Walden*: «Los hombres se han convertido en herramientas de las herramientas».<sup>68</sup>

### 5.3. La tecnología y las imágenes del progreso

El determinismo tecnológico presente en los discursos del progreso se puede auscultar aún más en algunas premisas de dichos discursos y en las

64. *Ibid.*

65. Véase *Ibid.* pp. 23-24.

66. *Ibid.* pp. 29-30.

67. Véase *Ibid.* pp. 36-42.

68. Véase *Ibid.* pp. 42-43.

imágenes puestas a circular en los siglos XIX y XX. Esto es lo que hace evidente Michel L. Smith en *El recurso del imperio*.<sup>69</sup> La idea de que la innovación tecnológica traza un rumbo de avance «inevitable» de bienestar es una de las premisas del progreso que, una vez socializada, se ha convertido en creencia, derivándose de ello un culto exacerbado a las máquinas y los artefactos tecnológicos que bien puede considerarse fetichismo cultural, similar al que tenían joyas y accesorios en sociedades premodernas: Tal vez en las sociedades industrializadas las tecnologías sean visibles principalmente en los ropajes con los que las viste cada cultura».<sup>70</sup>

En otras palabras, los discursos del progreso han calado como cosmovisión y una vez apropiados han tomado la fuerza de dogmas, creencias, usos fetichistas de las máquinas y, por supuesto, como siguiendo el guión de un evangelio tecnológico, han desplegado una iconografía, unas imágenes de culto.

La iconografía de la tecnología como símbolo de progreso se devela tras identificar los circuitos de difusión de las imágenes en el siglo XIX, básicamente predicadores callejeros, ferias mecánicas, litografías, composiciones publicitarias y, finalmente, revistas de divulgación, el cine y la televisión.

De entre las ilustraciones en artes populares, Merrit Roe Smith destaca los grabados de Currier and Ives que

representan la importancia de la máquina de vapor. Igualmente, el óleo de John Gast de 1972, titulado *Westward-ho*. En la primera imagen aparece un tren de vapor como fuerza fundamental de la colonización del Oeste americano y portador de los valores y la civilización anglosajones.<sup>71</sup> En la imagen de Gast una mujer flota en el aire mirando al Oeste y llevando en la frente la «Estrella del imperio». En la mano izquierda lleva un libro-testimonio de la Ilustración nacional- y con la mano izquierda «...estira los finos alambres del telégrafo, que van a transmitir la inteligencia por toda la tierra...Huyendo del «progreso» se encuentran los indios, los búfalos...corriendo hacia el Oeste...Los indios...vuelven la cabeza desesperados mirando al sol que se está poniendo...»<sup>72</sup> Por su parte, Michel L. Smith desarrolla una amplia interpretación del grabado de Currier and Ives en que aparece el tren, poniendo énfasis en la frontera tecnológica: «A falta de una frontera geográfica, la cultura americana dominante puso el acento en otro terreno iconográfico: la frontera tecnológica, en la que el veloz tren aparecía, no como el nuevo transmisor del progreso, sino como el progreso mismo».<sup>73</sup>

Un circuito de difusión de imágenes, fundamental para el estudio de la iconografía de la tecnología como símbolo de progreso, lo constituyen las revistas de divulgación, particularmente, la revista *Popular Mechanist*.

69. Véase Smith, Michel L. *El recurso del imperio: pasajes del progreso en la América tecnológica*. En: Smith y Marx, op. cit. pp. 52-68.

70. Ibid. p. 55.

71. Véase Smith, Merrit Roe, op. cit. p.26.

72. Ibid. p.27.

73. Smith, Michael L., op. cit. p. 59.

Fundada en 1902, hacia 1952 celebra sus cincuenta años con imágenes de antología, y en ellas se detiene la atención de Michael L. Smith. Allí destaca la imagen elaborada por el ilustrador A. Leydenfrost *Science on the March*, una ilustración que muestra la síntesis de los cambios tecnológicos en cincuenta años, produciendo una sensación de dinamismo: «La locomotora y demás artefactos del progreso corren hacia el espectador»,<sup>74</sup> es decir, la tecnología es una fuerza que tiende a devorar a quien la mira.

Para finalizar, esta imagen nos recuerda a los hermanos Lumiere, inventores del cine, quienes hacia 1898 registraron por primera vez en el celuloide el tren en movimiento.<sup>75</sup> Son muchas las imágenes que podrían hacer parte de una lista rigurosa de la iconografía de la tecnología, y ello mismo resulta un campo tentador de investigación, ya en referencia a los discursos y las imágenes de tecnologías actuales.

## 6. LA TECNOLOGÍA Y LOS DISCURSOS DEL PESIMISMO CULTURAL

Aunque a primera vista no lo parezca, el determinismo tecnológico no sólo está presente en los discursos optimistas del progreso, como ya se ha mostrado, sino también, y muy frecuentemente en los discursos críticos del progreso. Ello es así dado que en el siglo XX, eventos como las bombas sobre Hiroshima y Nagasaki, lo ocurrido en Vietnam, y después, el desastre de Chernobyl, para no mencionar el efecto invernadero, han suscitado fuertes cuestionamientos a la

direccionalidad del progreso basado en la tecnología. Estos hechos y muchos otros han constituido una fuente de escepticismo y de pesimismo cultural, que tiende a prevalecer desde los años sesenta en el mundo. La validez e importancia de la crítica al progreso está fuera de toda duda. Sin embargo, lo que sí se destaca en estos discursos, en muchos casos termina magnificando el supuesto poder de transformación de la tecnología cayendo en un determinismo tecnológico igual o mayor que el dado por los evangelizadores del progreso.

### 6.1. La reificación de la tecnología

Desde la aparición del término tecnología, como aquí se ha mencionado, la atribución a ésta de un significado limpio, depurado y abstracto ha permitido no sólo la legitimación de discursos tecnológicos como la tecnocracia, sino también el recubrimiento de los ingenieros y tecnólogos con una aureola de expertos vestidos por las universidades, verdaderos templos de formación tecnológica. En los lenguajes puestos a circular por los expertos, la tecnología ha llegado a significarlo todo en la vida moderna, difuminándose las fronteras entre los componentes materiales y conceptuales de la tecnología y produciéndose así, como lo expresa Leo Marx, una reificación de la tecnología:

«El concepto no se refiere a ninguna asociación clara de lugares o de personas que pertenezcan a un determinado país, grupo étnico, raza, clase o género. Por consiguiente, una tendencia habitual del discurso contempo-

74. Ibid. p. 62-63.

75. Véase al respecto el documental audiovisual de la CNN *Milenium: El siglo de la máquina*, 1999.

ráneo es invertir la «tecnología» de toda una multitud de propiedades y potencias metafísicas, haciendo así que parezca una entidad determinada, un agente causal autónomo incorpóreo del cambio social, de la historia». <sup>76</sup>

Ante ello, los discursos de los detractores del progreso tecnológico, en lugar de invertir la consideración de la tecnología como ente autónomo, han terminado sobredimensionando el concepto y dotándolo de un poder antes inimaginado.

## **6.2. El pesimismo cultural y su reenvío al determinismo tecnológico**

El desencanto por el proyecto del progreso, en realidad, no sería tanto si no se compartiera implícitamente el ímpetu que generó la difusión de los ideales ilustrados utilizados hábilmente por las élites de tecnócratas. En los años sesenta esta forma de desaliento se convirtió, por la vía de algunos filósofos, en el pesimismo posmoderno. Tras el romance histórico del progreso, se produce un desencanto que cobra ribetes de tragicomedia posmoderna. En el posmodernismo hay una crítica fuerte del relato moderno del progreso y ello redundando en cierto fatalismo. Sin embargo, ello coincide con el surgimiento de tesis sobre la sociedad del conocimiento, la sociedad de los micropoderes y el fin de las ideologías. En todos estos discursos de carácter posmoderno, la tecnología sigue siendo abstracta, indescifrable y elusiva al control humano, similar a la figura del Gran Hermano en la novela *1984* de Georges Orwell o en la obra literaria de

Aldous Huxley sobre la distopía *Un mundo feliz*.

¿Hasta qué punto la crítica de la tecnología tiene un efecto bumerán? En autores como Jacques Ellul y Langdom Winner, de acuerdo con lo planteado por Merrit Roe Smith, parece haber un retorno al determinismo tecnológico en el sentido en que dotan a la tecnología de un poder autónomo e incontrolable: «...al denunciar el omnipresente poder de los sistemas tecnológicos y las graves amenazas que plantean tanto a la humanidad como a la naturaleza, esos críticos han dotado a la técnica moderna de un grado de poder causal e influencia que a menudo va más allá incluso de lo que sostienen sus defensores más entusiastas». <sup>77</sup>

Sin embargo, en la perspectiva de Leo Marx, ello es más evidente entre los autores considerados posmodernos como Michel Foucault o Jacques Derrida. La noción de poder en Foucault es la ubicuidad, el poder es dinámico y fluido y está en todas partes, característica que antes sólo se atribuía a Dios. Las redes que funcionan mediante los conceptos intermedios como el de impulso tecnológico ayudan a precisar la real dimensión de las mutuas determinaciones, pero, asimismo, es bueno desnudar, antes que nada, el trasfondo narrativo sobre el que se utilizan dichos conceptos, es decir, el lugar en los discursos optimistas o fatalistas, pero igualmente deterministas, ya que suele adjudicarse a los artefactos la proyección de los temores y miedos cuya real explicación está en las mismas relaciones y formas de

76. Marx, Leo., op. cit. p. 65.

77. Smith, Merrit Roe, op. cit. p. 50.

organización social, como sucedía con los ludditas.

Respecto a las TIC, particularmente los ordenadores e internet, estas asociaciones deterministas se han actualizado. Se habla de los impactos de las tecnologías de información desconociendo los factores económicos, políticos y culturales que los orientan y configuran. Se suele desconocer que son construcciones sociales. Sin embargo, David Lyon nos recuerda: «No obstante, tampoco son únicamente relaciones sociales, como si fuera de algún modo posible reducirlos a «relaciones sociales». Tales relaciones están sin duda presentes, pero no describen, comprensiva o esencialmente, qué son esas tecnologías. Los propios artefactos tienen capacidades que parecen invitar a su uso para fines de vigilancia. Enfatizar lo social a expensas de lo técnico es tan miope como lo contrario.»<sup>78</sup>

## BIBLIOGRAFÍA

- Bijker, Wiebe. La construcción social de la baquelita. Hacia una teoría de la invención. En: López Cerezo, José A. *Et al. Ciencia, tecnología y sociedad*. Barcelona, Ariel, 1997. pp. 101-129.
- Bimber, Bruce. Tres caras del determinismo tecnológico. En: Smith, Merrit Roe, Marx Leo. (Eds) *Historia y determinismo tecnológico*. Madrid, Alianza, 1996. pp. 95-116.
- Chávarro, Luis Alfonso. *La racionalidad tecnológica o la lógica de la velocidad*. Ponencia presentada en la I Jornada sobre las Humanidades en la Universidad, su presente y su futuro. Cali, Memorias CUAO, 2002.
- Ellul, Jacques. *El siglo XX y la técnica*. Barcelona, Labor, 1960.
- Heilbroner, Robert L. ¿Son las máquinas el motor de la historia? En: Smith, Merrit Roe, Marx, Leo. (Eds) *Historia y determinismo tecnológico*. Madrid, Alianza, 1996.
- Heilbroner, Robert L. Reconsideración del determinismo tecnológico. En: Smith y Marx, op. cit. Pp. 83-94.
- Hughes, Thomas P. El impulso tecnológico. En: Smith y Marx, op. cit. pp. 117
- Marx, Karl. Maquinaria y gran industria. En: *El capital. Crítica de la economía política*. México, FCE, 1977.
- Marx, Karl. *La miseria de la filosofía*. Navarra, Folio, 1999.
- Marx, Leo. La idea de la «tecnología» y el pesimismo postmoderno. En: Smith y Marx, op. cit. pp. 253-273.
- Misa, Thomas J. Rescatar el cambio sociotécnico del determinismo tecnológico. En Smith y Marx, op. cit. pp. 131-157.
- Smith, Michel L. *El recurso del imperio: pasajes del progreso en la América tecnológica*. En: Smith y Marx, op. cit. pp. 52-68.
- Winner, Langdom. *Tecnología autónoma*. Barcelona, Gustavo Gili, 1979.

78. Lyon, David. *El ojo electrónico*. Madrid, Alianza, 1994, p. 70.

## CURRÍCULO

**Luis Alfonso Chávarro** es Sociólogo y Licenciado en Literatura de la Universidad del Valle, Especialista en Teorías y Métodos de Investigación, Magister en Sociología de la Universidad del Valle. Se ha desem-

peñado como catedrático de la Universidad del Valle y la Universidad Autónoma de Occidente. Actualmente trabaja en la cátedra de Ciencia, Tecnología y Sociedad en la Universidad ICESI. 