# DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL EN LA TELEFONÍA MÓVIL

**PAOLA ANDREA BURBANO CABRERA**
**RUBÉN DARÍO SOLARTE ARIAS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**
**DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES**
**GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGIAS EN TELECOMUNICACIONES**
**POPAYÁN**
**2008**

# DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL EN LA TELEFONÍA MÓVIL

**PAOLA ANDREA BURBANO CABRERA**
**RUBÉN DARÍO SOLARTE ARIAS**

Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

**Director**
**ING. ALEJANDRO TOLEDO TOVAR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**
**DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES**
**GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGIAS EN TELECOMUNICACIONES**
**POPAYÁN**
**2008**

**TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN ..... 1
1.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA TELEVISIÓN EN COLOMBIA ..... 3
1.2 MODALIDADES DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN EN COLOMBIA ..... 3
1.3 ENTES QUE REGULAN EL SERVICIO DE TELEVISIÓN EN COLOMBIA ..... 4
1.3.1 Comisión Nacional de Televisión (CNTV) ..... 5
1.4 ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN COLOMBIA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ANALÓGICA RADIODIFUNDIDA ..... 6
1.5 PROCESO PARA LA ADOPCIÓN DE TELEVISÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA ..... 7
1.6 ENTORNO COLOMBIANO ..... 9
1.6.1 Geografía Colombiana ..... 9
1.6.2 Estándar de Televisión Digital Terrestre en Colombia ..... 10
1.6.3 Infraestructura de la Televisión Analógica Radiodifundida y Telefonía Móvil en Colombia ..... 10
1.6.4 Espectro Radioeléctrico en Colombia ..... 11
2. DEFINICIÓN Y COMPARACIÓN TÉCNICA DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES ..... 12
2.1 TOPOLOGÍAS PARA LA DIFUSIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL HACIA TELÉFONOS CELULARES ..... 12
2.1.1 Redes de Transmisión Celular ..... 12
2.1.2 Redes de Difusión *Broadcast* ..... 15
2.2 ESTÁNDAR DVB-H ..... 16
2.2.1 Características del Sistema ..... 17
2.2.2 Capa Física ..... 19
2.2.3 Capa de Enlace ..... 19
2.2.4 Relación Señal a Ruido ..... 21
2.2.5 Datacasting IP sobre DVB-H ..... 21
2.2.6 Uso del Espectro y Ancho de Banda ..... 22
2.2.7 Redes de Frecuencia Única ..... 22
2.2.8 Redes Jerárquicas ..... 22
2.2.9 Cobertura ..... 22
2.2.10 Middleware ..... 22
2.2.11 Parámetros de Configuración ..... 23
2.2.12 Estándar DVB-SH ..... 24
2.3 ESTÁNDAR ISDB-T 1-Seg ..... 28
2.3.1 Características del Sistema ..... 29
2.3.2 Subsistema de Modulación ..... 29

2.3.3 Transmisión Jerárquica....31
2.3.4 Recepción Parcial....31
2.3.5 Entrelazador de Tiempo (Time Interleaver)....31
2.3.6 Middleware....31
2.3.7 Parámetros de Configuración....32
2.4 ESTÁNDAR T-DMB....33
2.4.1 Características del Sistema....33
2.4.2 Esquema de Transmisión Jerárquica COFDM....34
2.4.3 *Middleware*....35
2.4.4 Parámetros de Configuración....35
2.4.5 Estándar S-DMB....36
2.5 ESTÁNDAR MEDIA FLO....39
2.5.1 Características del Sistema....39
2.5.2 Descripción de la Capa Física....40
2.5.3 Subsistema de Transmisión....41
2.5.4 Eficiencia Espectral....42
2.5.5 Redes de Frecuencia Única....42
2.5.6 Cobertura del Sistema....43
2.5.7 Ahorro de Batería....43
2.5.8 Parámetros de Configuración....43
2.6 ESTÁNDAR MPH....44
2.6.1 Características del Estándar....44
2.6.2 Compatibilidad con ATSC....45
2.7 COMPARACIÓN TÉCNICA DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES....45
2.7.1 Análisis de la Comparación Técnica de los Estándares de Televisión Digital Móvil para Teléfonos Celulares....51
2.8 ADAPTACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL AL ENTORNO COLOMBIANO....52
2.8.1 Estándar DVB-H....52
2.8.2 Estándar ISDB-T....54
2.8.3 Estándar T-DMB....54
2.8.4 Estándar MediaFLO....55
3. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA CONVERGENCIA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL A TELÉFONOS CELULARES....57
3.1 ESQUEMA TÉCNICO DE TRANSMISIÓN EN UN SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES....57

3.1.1 Compresión y Codificación de las Fuentes de Audio y Video ..... 57
3.1.2 Multiplexación MPEG-2 ..... 59
3.1.3 Codificación del Canal ..... 60
3.1.4 Esquema de Transmisión OFDM ..... 61
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL CANAL DE TRANSMISIÓN ..... 62
3.2.1 Frecuencias de Trabajo para el Servicio Televisión Digital Móvil ..... 62
3.2.2 Ancho de Banda para Televisión Digital Móvil en Teléfonos Celulares ..... 63
3.2.3 Multitrayecto y Retardo de la Señal de Televisión Digital Móvil para Teléfonos Celulares ..... 63
3.3 ESQUEMA TÉCNICO DEL SISTEMA DE RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES ..... 64
3.3.1 Chip Receptor ..... 65
3.3.2 Modulo de Señal de Entrada y Sintonizador ..... 66
3.3.3 Módulo de Demodulación y Decodificación ..... 67
3.3.4 Modulo del Motor de Aplicaciones ..... 68
3.3.5 Pantalla ..... 68
3.4 CONVERGENCIA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL Y LA TELEFONÍA MÓVIL EN EL TELÉFONO CELULAR ..... 69
3.4.1 Características del Dispositivo Receptor Convergente y Parámetros de Configuración ..... 70
3.5 COBERTURA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES ..... 70
3.6 TASA DE DATOS PARA TELEVISIÓN DIGITAL EN MÓVIL EN TELÉFONOS CELULARES ..... 71
3.7 NÚMERO DE PROGRAMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES ..... 71
3.8 COMPLEMENTO ENTRE LA RED DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL Y LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR ..... 72
3.8.1 Compatibilidad entre la Televisión Digital y la Telefonía Móvil ..... 72
3.8.2 Relación entre la Red de Difusión de Televisión Digital Móvil y la Red de Telefonía Móvil ..... 74
3.8.3 Interactividad para Televisión Digital Móvil en Teléfonos Celulares ..... 75
3.8.4 Modelo de Negocio ..... 80
3.8.5 Cadena de Valor en Televisión Digital Móvil ..... 82
4. DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL EN TELÉFONOS CELULARES ..... 84
4.1 CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL EN TELÉFONOS CELULARES ..... 84
Criterio 1. Se debe Hacer un Manejo Adecuado de Compresión y Codificación de Fuentes ..... 84
Criterio 2. Se deben Manejar Técnicas Eficientes de Corrección de Errores ..... 85
Criterio 3. Se debe Configurar un Esquema de Transmisión Robusto y Flexible ..... 85
Criterio 4. Se deben Asignar Frecuencias en las Bandas IV y/o V de UHF ..... 86

Criterio 5. Se debe Asignar un Ancho de Banda de 6 MHz para cada Canal ....87
Criterio 6. Se debe Implementar Una o Varias SFN ....87
Criterio 7. Se debe Establecer el Número y Ubicación Adecuada de Transmisores y/o Repetidores ....89
Criterio 8. Se debe Garantizar Cobertura en Interiores y Zonas Oscuras ....90
Criterio 9. Se deben Manejar Mecanismos Eficientes para Ahorro de Batería ....90
Criterio 10. Se deben Manejar Mecanismos Eficientes de *Handover* ....91
Criterio 11. Se debe Manejar la Convergencia de la Televisión Digital Móvil y la Telefonía Móvil en el Teléfono Celular ....92
Criterio 12. Se debe Manejar una Adecuada Asociación de la Red de Difusión de Televisión Digital Móvil y la Red de Telefonía Móvil ....93
Criterio 13. Se debe Elegir el Estándar de Televisión Digital Móvil más Adecuado para Colombia ....94
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ....101
5.1 CONCLUSIONES ....101
5.2 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS ....102
BIBLIOGRAFÍA ....104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Origen de los Recursos de la CNTV .....5
Figura 2. Transmisión *Unicast* .....12
Figura 3. Transmisión *Multicast* .....13
Figura 4. Transmisión *Broadcast* .....16
Figura 5. Principales Características del Estándar DVB-H .....17
Figura 6. Modificaciones y/o variaciones realizadas al Esquema de Transmisión de DVB-T por parte del Estándar DVB-H. .....18
Figura 7. Sistema de Transmisión y Recepción DVB-H .....21
Figura 8. Descripción General del Sistema ISDB-T para Teléfonos Celulares .....29
Figura 9. Sistema de Transmisión y Modulación Segmentada con Segmento Central para Móviles .....30
Figura 10. Estructura de Modulación BST-OFDM para el sistema ISDB-T y SBTVD-T .....30
Figura 11. Espectro del canal RF segmentado con Segmento Central para Dispositivos Móviles .....30
Figura 12. Principales Característica del Sistema de T-DMB .....33
Figura 13. Sistema de Transmisión T-DMB .....34
Figura 14. Codificación Outer Coder. a. Código de Corrección de Errores RS, b. Código de Corrección de Errores Convolutional Interleaver .....35
Figura 15. Constelación QPSK .....35
Figura 16. Sistema de Transmisión de S-DMB .....37
Figura 17. Características Principales del Sistema MediaFLO .....39
Figura 18. Sistema de Transmisión del Estándar Media FLO .....40
Figura 19. Estructura de una Súper Trama .....41
Figura 20. Constelación 16QAM en la Capa de Modulación .....42
Figura 21. Esquema Técnico de un Sistema de Transmisión para Televisión Digital Móvil .....57
Figura 22. Esquema de Transmisión OFDM con Modulación de Subportadoras .....61
Figura 23. Componentes Principales del Chip Receptor .....66
Figura 24. a. Convergencia para Terminales que ofrecen TVDM y Telefonía Móvil por medio de 2.5G, b. Convergencia para Terminales que ofrecen TVDM y Telefonía Móvil por medio de Tecnologías 3G .....69
Figura 25. Modelo de Negocio Gestionado por el Radiodifusor .....80
Figura 26. Modelo de Negocio Gestionado por el Operador de la Red Celular .....81
Figura 27. Modelo Gestionado por un Proveedor de Servicio de Difusión Integrado .....82
Figura 28. Cadena de Valor en Televisión Digital Móvil .....83
Figura 29. Ahorro de Batería en una SFN para DVB-H .....90
Figura 30. *Handover* en una SFN para DVB-H .....92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consejo Asesor para la Implementación del Servicio de TDT en Colombia ....8
Tabla 2. Comité Técnico para la Implementación del Servicio de TDT en Colombia ....8
Tabla 3. Principales Características del Sistema MBMS ....15
Tabla 4. Parámetros de Configuración y características de DVB-H para Dispositivos Móviles ....23
Tabla 5. Frecuencias de Operación del Sistema DVB-SH ....27
Tabla 6. Parámetros de Configuración y características de DVB-SH para Dispositivos Móviles ....28
Tabla 7. Parámetros de Configuración y Características de ISDB-T / 1-Segmento para Dispositivos Móviles ....32
Tabla 8. Parámetros de Configuración y características del Sistema T-DMB ....36
Tabla 9. Parámetros de Configuración y Características del Sistema S-DMB ....38
Tabla 10. Parámetros de Configuración del Sistema MediaFLO ....43
Tabla 11. Comparación Técnica de los Estándares de Televisión Digital Móvil más Desarrollados ....46
Tabla 12. Ejemplos de Servicios Interactivos ....78
Tabla 13. Configuración Adecuada del Esquema de Transmisión para TVDM ....86
Tabla 14. Consideraciones de DVB-H para suplir los Criterios Técnicos Planteados ....99

## GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

AAC: Advanced Audio Coding, Codificación Avanzada de Audio
ACIEM: Asociación Colombiana de Ingenieros
ADT: Aplication Data Table, Tabla de Datos de Aplicación
ARIB: Association of Radio Industries and Business of Japon, Asociación de Industrias de Radio y Negocios de Japón
Bits-TPS: Bits -Transmission Parameter Signalling, Bits - Parámetros de Señalización y Transmisión
BML: Broadcast Markup Language, Lenguaje de Marcado para Difusión
BS: Bearer Service, Portador de Servicios
BST - OFDM: Band Segmented of Transmission – Orthogonal Frequency Division Multiplex, Banda Segmentada de Transmisión - Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal
CBS: Cell Broadcast Service, Servicio de Difusión Celular
CGC: Complementary Ground Component – Componente Complementario en Tierra
CITEL: Comisión Interamericana de Telecomunicaciones
CNTV: Comisión Nacional de Televisión
COFDM: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex, Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada
COMCEL: Operador de Telefonía Móvil en Colombia de origen Mexicano (América Móvil)
CRT: Comisión de Regulación de Telecomunicaciones
DAB: Digital Audio Broadcasting, Difusión de Audio Digital
DiBEG: Digital Broadcasting Experts Group, Grupo de Expertos en Difusión Digital
DMB: Digital Multimedia Broadcasting, Difusión Multimedia Digital
DVB-T: Digital Video Broadcasting – Terrestrial, Difusión de Video Digital – Terrestre
DVB-H: Digital Video Broadcasting – Handheld, Difusión de Video Digital – Dispositivo de Mano
DVB-S2: Digital Video Broadcasting - Satellite Services 2, Difusión de Video Digital – Servicios Satelitales Versión 2
DVB-SH: Digital Video Broadcasting - Satellite Services for Handheld Devices, Difusión de Video Digital – Servicios Satelitales para Dispositivos de Mano
EDGE: Enhanced Data Rates for Global Evolution, Velocidades de Datos Extendidas para una Evolución Global
ESG: Electronic Service Guide, Guía Electrónica de Servicios
ETSI: European Telecommunications Standards Institute, Instituto Europeo de Estándares Telecomunicaciones
FDM: Frecuency Division Multiplexing, Multiplexación por División de Frecuencia
FEC: Forward Error Correction, Corrección de Errores sin Retransmisión
FFT: Fast Fourier Transform, Transformada Rápida de Fourier
GPRS: General Packet Radio Service, Servicio General de Paquetes vía Radio
GSM: Global System for Mobile Communications, Sistema Global para Comunicaciones Móviles
HSDPA: High Speed Downlink Packet Access, Acceso de Alta Velocidad para Descarga de Paquetes
HSUPA: High Speed Uplink Packet Access, Acceso Ascendente de Paquetes a Alta Velocidad
HTML: Hyper Text Markup Language, Lenguaje de Etiquetas de Hipertexto
IPDC: Internet Protocol Data Casting, Difusión de Datos Bajo el Protocolo de Internet
ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial, Difusión Digital de Servicios Integrados - Terrestre
ITU: International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones
MediaFLO: Media Forward Link Only
MFN: Multiple Frequency Network, Redes de Múltiples Frecuencias
MHP: Multimedia Home Platform, Plataforma
MLC: Multicast Logical Channels, Multidifusión de Canales Lógicos
MOVISTAR: Operador de Telefonía Móvil en Colombia de origen Español (Telefónica)

MPE: Multi Protocol Encapsulation, Multiprotocolo de Encapsulación
MPE-FEC: Multi Protocol Encapsulation – Forward Error Correction, Multiprotocolo de Encapsulación - Corrección de Errores sin Retransmisión
MPE-IFEC: Multi Protocol Encapsulation – Inverse Forward Error Correction, Multiprotocolo de Encapsulación – Corrección Inversa de Errores sin Retransmisión
MPEG-2: Moving Picture Experts Group – 2, Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento – Parte 2
MPEG-4: Moving Picture Experts Group – 4, Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento – Parte 4
MPH: Mobile Pedestrian Handheld, Lenguaje de Interactividad para Dispositivos Móviles de Mano para Peatones
MPTS: Multiple Program Transport Stream, Trama de Transporte de Múltiples Programas
MVON: Mobile Virtual Operator Network, Operador Móvil de Red Virtual
NTSC: National Television System Committee, Comité del Sistema de Televisión Nacional de Estados Unidos
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplex, Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal
PCCC: Parallel Concatenated Convolutional Code, Código Convolucional Concatenado Paralelo
PES: Packet Elementary Stream, Trama de Paquetes Elementales
PSI/SI: Program Specific Information/Service Information, Información Específica de Programa/Información de Servicio
PS: Program Stream, Trama de Programa
QAM: Quadrature Amplitude Modulation, Modulación de Amplitud en Cuadratura
QPSK: Quadrature Phase Shift Keying,
RS: Reed Solomon, Código Corrector de Errores
RSC: Recursive Systematic Convolutional
RTVC: Radio Televisión de Colombia
SBTVD-T: Sistema Brasilero de Televisión Digital Terrestre
SC: Satellite Component– Componente Satelital
SDTV: Standard Definition Television, Televisión de Definición Estándar
S-DMB: Satellite - Digital Multimedia Broadcasting, Satélite - Difusión Multimedia Digital
SFN: Single Frecuency Network, Redes de Frecuencia Única
SI: Sistem Information, Sistema de Información
TDM: Time Division Multiplexing, Multiplexación por División de Tiempo
T-DMB: Terrestrial - Digital Multimedia Broadcasting, Terrestre – Difusión Multimedia Digital
T-DMB MATE: Terrestrial - Digital Multimedia Broadcasting / Mobile Application Environment, Terrestre – Difusión Multimedia Digital / Ambiente de Aplicación Móvil
TDT: Televisión Digital Terrestre
TELECOM: Colombia Telecomunicaciones
TIGO: Operador de Telefonía Móvil de Origen Colombiano (Colombia Móvil) en conjunto con Millicom International Cellular S.A.
TS: Transport Stream, Trama de Transporte
TVDM: Televisión Digital en Movilidad
TVD: Televisión Digital
UDP: User Datagram Protocol, Protocolo de Datagrama de Usuario
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones
UHF: Ultra High Frequency, Frecuencia Ultra Alta
UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles
US: User Service, Servicio de Usuario
VHF: Very High Frequency, Fecuencia Muy Alta
WCDMA: Wideband Code Division Multiple Acces, Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha
3GPP: 3rd Generation Partnership Project, Promotores del Proyecto de Tercera Generación
3G: Third Generation, Tercera Generación

## INTRODUCCIÓN

La televisión es uno de los medios de comunicación más utilizados a nivel mundial para diferentes propósitos. Su evolución ha sido considerable desde sus inicios, pasando desde el blanco y negro al color hasta llegar hoy por hoy a su digitalización, posicionándose favorablemente dentro del mundo de las telecomunicaciones y que actualmente se conoce como Televisión Digital (TVD). Esta tecnología se ha convertido en un elemento básico en la sociedad, pues por medio de imágenes y sonido brinda la posibilidad de informarse con respecto a noticias, eventos extraordinarios, aspectos económicos y además es un medio de entretenimiento mediante el cual se tiene acceso a juegos, novelas, deportes y una amplia gama de servicios multimedia e interactivos. Por otro lado, la gran movilidad que tienen las personas en los hogares, en el trabajo, en los negocios, entre otros, hacen que éstas ya no se limiten a estar en un lugar específico para tener acceso a algún servicio en especial, pues sus obligaciones así lo demandan. El teléfono móvil por su parte es un dispositivo que años atrás fue visto como un elemento de lujo y que con el paso del tiempo ha evolucionado hasta convertirse en una necesidad y en una herramienta omnipresente para acceder a diversos servicios que anteriormente era inimaginable poder alcanzar con un pequeño terminal que surgió para hablar a distancia y sin estar atado a un punto fijo. Diversos estudios y avances en el campo de la Televisión y el entorno móvil han logrado la correlación de estos dos mundos aislados hasta hace un tiempo, que hoy convergen hacia una tecnología que permite ver televisión en el teléfono celular de forma personalizada, en cualquier momento, con la facilidad de acceso en diferentes lugares donde se brinde cobertura y con la posibilidad de ofrecer gran variedad de contenidos a los consumidores, tecnología que recibe el nombre de Televisión Digital Móvil (TVDM) y que hace referencia a la extensión de servicios de difusión de televisión hacia receptores portables, especialmente en teléfonos celulares.

Existen estándares a nivel mundial desarrollados exclusivamente para TVDM, estándares que han evolucionado y otros que son adaptaciones de la Televisión Digital Terrestre (TDT) para su recepción en dispositivos móviles. Estas dos tecnologías son totalmente independientes, y a pesar de que pueden trabajar conjuntamente y compartir parte de la infraestructura gracias a los desarrollos realizados por sus creadores, su desempeño se favorece al trabajar individualmente debido a las configuraciones de cada sistema teniendo en cuenta sus necesidades particulares, ya que para recepción móvil en teléfonos celulares por ejemplo, las condiciones son más exigentes, como en el interior de edificaciones y la misma movilidad de los usuarios. Por tal motivo es conveniente tener en cuenta y hablar de las dos tecnologías como sistemas que trabajan por separado y ninguno depende del otro para su funcionamiento. La TVDM es muy atractiva puesto que utiliza canales de gran ancho de banda con altas velocidades de transmisión. Esto significa que se puede ofrecer a los usuarios móviles alta calidad y amplia selección de servicios de televisión, teniendo en cuenta además la posibilidad de acceder al servicio en cualquier momento y lugar. La difusión simultánea de los servicios ofrecidos por esta tecnología a la totalidad de usuarios es un medio muy rentable para brindar contenido a grandes audiencias, en comparación con el envío a uno o varios clientes a la vez mediante redes celulares por ejemplo. Por tal razón, las redes de difusión enfocadas a brindar este servicio a la totalidad de usuarios en un área de cobertura se posicionan como la mejor opción, donde una vez que se difunde algún tipo de contenido no existen límites para la cantidad de clientes que pueden recibir este mismo. Es importante tener en cuenta que estos sistemas de difusión a grandes audiencias para entornos móviles, específicamente en teléfonos celulares, presentan altos niveles de cobertura al trabajar con redes de frecuencia única y con un número elevado de transmisores y/o repetidores.

El mundo de las telecomunicaciones avanza constantemente buscando en ciertos casos la integración de diversas tecnologías y de esta forma cumplir con diferentes requerimientos de funcionalidad, flexibilidad y movilidad, teniendo en cuenta la relación costo beneficio para favorecer a los diferentes actores involucrados con la tecnología. El trabajo conjunto entre las redes de difusión y las redes celulares para ofrecer gran variedad de servicios robustece el sistema en general, abriendo la posibilidad y necesidad en la creación de modelos de negocio. Se puede ver entonces que la TVDM ofrece gran cantidad de ventajas y que poco a poco se abrirá espacio dentro de los diferentes servicios de telecomunicaciones de nueva generación que han surgido en los últimos tiempos.

## RESUMEN

Este Trabajo de Grado titulado "Definición de los Criterios Técnicos para la Implementación en Colombia del Servicio de Televisión Digital en la Telefonía Móvil", enmarcado dentro de la línea de investigación del Grupo I+D de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, presenta un estudio técnico y teórico de la Televisión Digital (TVD) enfocado hacia redes de difusión y teléfonos celulares, estudio que teniendo en cuenta el entorno colombiano permite dicha definición.

El documento consta de cuatro capítulos que guían al lector para entender la tecnología en sí, con las respectivas consideraciones, características y especificaciones técnicas que se deben tener en cuenta para su implementación en Colombia. Inicialmente, el capítulo I describe la situación actual de la televisión en el país, con su respectiva historia y evolución, además de los métodos de su prestación, los entes que la regulan y el proceso que se ha llevado en Colombia para la implementación de la TDT, que en parte abre un camino importante para el establecimiento de la TVD en dispositivos móviles, finalizando con la descripción del entorno colombiano a tener en cuenta para la definición de los criterios técnicos. En el capítulo II se exponen los dos tipos de redes a través de las cuales se puede transmitir la señal de TVDM, en este caso las redes celulares y las redes de difusión, se definen los diferentes estándares que posibilitan la difusión de TVDM a teléfonos celulares, junto con la comparación técnica de aquellos que cuentan con un mayor desarrollo, robustez y flexibilidad ante diferentes configuraciones, lo que permite visualizar y entender tanto las ventajas como las desventajas de cada uno frente a los demás. Posteriormente, en el capítulo III se exponen las consideraciones técnicas que se deben tener en cuenta para la convergencia de la TVD hacia a teléfonos celulares, se determina la compatibilidad entre la TVD y la telefonía móvil como soporte para establecer la relación existente entre la red de difusión de TVDM y la red celular, complemento necesario para ofrecer servicios interactivos, junto con los diferentes modelos de negocio que se manejan para la relación de las dos redes. En el capítulo IV se presenta la adaptación al entorno colombiano de los estándares de TVDM más desarrollados, seguido de los criterios técnicos para la implementación en Colombia de la TVDM teniendo en cuenta dicho entorno, además de su viabilidad técnica. Finalmente, se presentan las conclusiones del Proyecto junto con las recomendaciones pertinentes para trabajos futuros en esta área.

# 1. PANORAMA ACTUAL DE LA TELEVISIÓN EN COLOMBIA

En este capítulo se establece la situación actual de la televisión en Colombia y se describe en forma general el panorama de la misma partiendo desde sus inicios y la evolución que ha tenido hasta el momento en el país, las modalidades de su prestación, cuáles son los entes que la regulan, la asignación del espectro electromagnético que tiene en Colombia, el proceso que se ha llevado para la adopción de la TDT y finalmente el entorno colombiano a tener en cuenta para la definición de los criterios técnicos de la implementación de la TVDM en el país.

## 1.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA TELEVISIÓN EN COLOMBIA

La historia de la televisión en Colombia inició en el año de 1954 cuando el entonces presidente Gustavo Rojas Pinilla la trajo al país. Entre los aspectos más importantes dentro de la evolución que ha tenido este servicio en Colombia está la adopción del estándar americano de la Comisión Nacional de Sistemas de Televisión (NTSC, National Television System Committee) para la transmisión del servicio en forma analógica y radiodifundida, inicialmente a blanco y negro y que con el transcurrir de los años paso a ser televisión a color. Adicionalmente, surgieron las primeras programadoras y los primeros canales de televisión, que han aumentado año tras año. Hacia el año de 1985 aparecieron los canales regionales, incrementando su número con el paso del tiempo. Por otro lado esta también la creación de canales de carácter local y finalmente en el año de 1998 la creación de los dos canales privados que se mantienen hasta el momento, Canal RCN y Canal Caracol. Actualmente se estudia la posibilidad de incluir un nuevo canal privado. [1] [2] [3]

La televisión es un servicio de carácter público destinado para que una nación tenga acceso a pluralidad informativa, educación, cultura y recreación. Ahora, la televisión pública en un país es aquella que es programada por el estado y que se utiliza como medio de comunicación o puente entre el gobierno y los ciudadanos. En principio la televisión en Colombia ha sido pública y abierta, es decir, los usuarios reciben gratuitamente los canales públicos y privados que sean catalogados como abiertos. Los canales regionales, locales y privados existentes en Colombia se difunden en principio como servicio de televisión abierta. También se cuenta con televisión cerrada que se divide en televisión por suscripción y televisión comunitaria. Para la primera, un operador del servicio ofrece los canales de carácter abierto y adicionalmente incluye un número específico de canales nacionales e internacionales, y el usuario debe pagar un costo establecido por el operador respectivo. En la segunda, cierto sector de una población recibe la programación del canal respectivo de forma gratuita. Cabe mencionar que la televisión abierta se transmite por radiodifusión y la televisión cerrada es difundida por cable o por satélite. [2]

Finalmente, el 28 de Agosto de 2008 Colombia dio un gran paso en el campo de la televisión debido a la evolución constante que presenta este servicio, y es la elección del estándar europeo DVB-T (Digital Video Broadcast – Terrestrial) para la implementación de la TDT en el país. Adicionalmente, se abre el camino para la implementación de la TVD en dispositivos móviles, especialmente en teléfonos celulares, un servicio que traerá diversas ventajas con respecto a la televisión analógica y que significa un auge tecnológico en este campo, beneficiando a todos los actores involucrados en la cadena de valor y camino que deberá iniciar con los respectivos estudios. Por otro lado, también se estudia la inclusión del servicio de Televisión por IP (IPTV, Internet Protocol Television). Para mayor información de la historia y evolución de la televisión en Colombia remitirse al anexo A. [4]

## 1.2 MODALIDADES DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN EN COLOMBIA

El servicio de televisión se clasifica en función de la tecnología de transmisión que utiliza (radiodifusión, cable, satélite) o en función de la manera como es ofrecida a los usuarios (abierta, cerrada). Ahora, los canales de televisión pueden ser catalogados como públicos o privados, que a su vez se clasifican en canales nacionales, regionales o locales. [5]

Como se menciono anteriormente, el país cuenta con televisión abierta y cerrada donde se ofrecen canales tanto nacionales como regionales y locales. Para mayor información de la visión general para el caso de la televisión en Colombia remitirse al la figura 2 del anexo A. [5] [6]

Para dar cubrimiento a nivel nacional del servicio de televisión pública es necesario contar con estaciones de difusión y transmisores de televisión. De acuerdo a la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE), requerida para obtener los niveles de servicio adecuados, las estaciones de difusión de televisión se clasifican como estaciones de baja y muy baja potencia (menor a 1000 W), estaciones de mediana potencia (entre 1000 W y 5000 W) y estaciones de alta potencia (mayor a 5000 W). Ahora, los transmisores de televisión se clasifican según la potencia de transmisión, por ejemplo, transmisores de muy baja potencia (menor a 50 W), transmisores de baja potencia (mayor a 50 W y menor a 1 KW), transmisores de mediana potencia (mayor a 1 KW y menor a 5 KW) y transmisores de alta potencia (mayor a 5 KW). La cantidad de estaciones de difusión y transmisores de televisión existentes en Colombia son, canales nacionales públicos con 201 estaciones de difusión y 603 transmisores, canales nacionales privados con122 estaciones de difusión y 244 transmisores, canales regionales con 160 estaciones de difusión y 160 transmisores y canales locales con 49 estaciones de difusión y 49 transmisores. La cobertura para el servicio de televisión pública que se tiene a nivel nacional es, canales públicos nacionales 91.69 %, canales privados nacionales con 86.15 % y canales regionales con 75.63 %. [6]

En términos generales, el servicio público de televisión abierta tiene en promedio una cobertura del 92% del territorio colombiano. El gobierno nacional tiene previsto poner en marcha un servicio satelital de televisión pública y abierta para dar cobertura al 8% restante, servicio que será lanzado a finales del año 2008.

Finalmente, Colombia Telecomunicaciones (Telecom) es la entidad del estado encargada de la operación, mantenimiento, expansión y modernización de la red de televisión pública existente en el país y tiene como objetivo primordial que dicha red este en una constante evolución tecnológica, que cada vez tenga mayor cobertura y finalmente que brinde una excelente calidad en el servicio de televisión pública. [2]

### 1.3 ENTES QUE REGULAN EL SERVICIO DE TELEVISIÓN EN COLOMBIA

En principio la televisión en Colombia no tenía una legislación clara ni un ente que se encargara de regularla, por ejemplo, el surgimiento de nuevos canales de televisión y el respectivo contenido que estos ofrecen al usuario. Gracias a la Constitución Política de 1991, que ha permitido una evolución favorable para este servicio en el país, se estableció a partir de los artículos 76 y 77 que el servicio público de televisión estaría regido por un ente autónomo encargado de la gestión, vigilancia y control del mismo, además del manejo adecuado del espectro electromagnético destinado para su difusión. Es así como por medio de la ley 182 de 1995 se creó la Comisión Nacional de Televisión (CNTV) que tiene como objetivo, literalmente, “Ejercer, en representación del Estado, la titularidad y reserva del servicio público de televisión, dirigir la política de televisión, desarrollar y ejecutar los planes y programas del Estado en relación con el servicio público de televisión de acuerdo con lo que determine la ley, regular el servicio de televisión e intervenir, gestionar y controlar el uso del espectro electromagnético utilizado para la prestación de dicho servicio, con el fin de garantizar el pluralismo informativo, la competencia y la eficiencia en la prestación del servicio, y evitar las prácticas monopolísticas en su operación y explotación, en los términos de la Constitución y la ley”. La CNTV debe entenderse a su vez con otros entes encargados de la regulación y seguimiento no solo del servicio de televisión sino de diversos servicios existentes en Colombia. Dichos entes son el Ministerio de Comunicaciones y la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (CRT), que en conjunto con la CNTV interactúan con dos entes más, la Superintendencia de Industria y Comercio y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Para mayor información de estos entes remitirse a la figura 3 del anexo A. [2] [7] [8]

Debido a que el ente directo encargado de la gestión del servicio de televisión en Colombia es la CNTV, a continuación se hará énfasis en la misma.

### 1.3.1 Comisión Nacional de Televisión (CNTV)

Tras la Constitución de 1991 que autorizó la creación de un ente autónomo para la gestión del servicio público de televisión, en este caso la CNTV, las políticas que rigen a este servicio son de Estado y no de Gobierno, permitiendo así que las mismas sean independientes de las tres ramas del poder público en Colombia. Además, la CNTV tiene autonomía patrimonial, administrativa y técnica lo que le permite además de ser independientemente institucional, autofinanciarse para poder ejercer sus respectivas funciones. [2]

Tras el plan de desarrollo planteado por el gobierno colombiano, la CNTV ha participado activamente en la reorganización de la institucionalidad de la televisión pública buscando que sea un servicio productivo y eficiente, siempre pensando en el beneficio de los ciudadanos y de la sociedad en general. A diferencia de otros países donde la televisión pública depende directamente del gobierno, o en algunos casos del espectador, en Colombia este servicio ha evolucionado positivamente en los últimos años precisamente gracias a la independencia con la que cuenta la CNTV. Justamente la televisión pública en el país creó un sistema de financiación donde el mismo sector aporta económicamente para el sostenimiento de este servicio. [2]

En la figura 1 se puede ver de forma general como se originan los recursos para la autofinanciación de la CNTV en pro del servicio de televisión pública. [2]

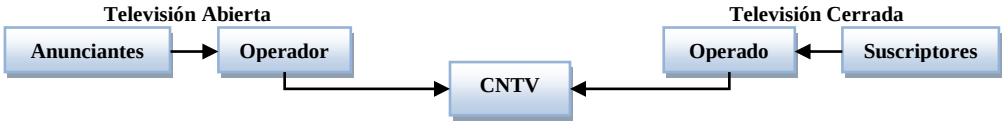



**Figura 1. Origen de los Recursos de la CNTV [2]**

Los ingresos que obtiene la CNTV, además de servir para su autosostenimiento, ayudan a financiar los canales públicos que existen en Colombia. Cabe anotar que Radio Televisión de Colombia (RTVC) es la encargada de la producción y programación de los Canales Públicos Nacionales. Para mayor información acerca de cómo la CNTV destina parte de sus recursos remitirse a la figura 4 del anexo A. [2]

En busca de garantizar al menos unos recursos específicos para la televisión pública, se creo el Fondo para el Desarrollo de la Televisión (FDTV), que fue constituido con recursos del sector de la TV para ser invertidos prioritariamente en la TV Pública. El FDTV puede en un momento dado destinar recursos para la promoción, protección y desarrollo de la industria de la TV en general. Para tener una visión particular del origen y destino de los fondos que maneja la CNTV en conjunto con el FDTV remitirse a la figura 5 del anexo A. [2]

Para una correcta gestión del servicio de televisión en Colombia, la CNTV creo un Plan de Desarrollo de la Televisión, que se ejecuta en ciertos periodos de tiempo y busca la continuidad y evolución constante del servicio público de TV. Dentro de los más recientes se encuentra el estipulado en el periodo comprendido entre el año 2004 y el año 2007. Debido a que el periodo estipulado finalizó, la CNTV ha diseñado un nuevo Plan de Desarrollo de la Televisión que comprende el periodo 2008-2011, donde se plantean ciertos objetivos e invita a los ciudadanos a aportar ideas para fortalecer el mismo. La propuesta para este plan que regirá dicho servicio en este periodo consiste en promover el acceso universal al servicio de televisión (estimular la producción y programación de la televisión colombiana, fomentar el acceso a minorías y poblaciones especiales a la televisión, promover el uso eficiente y eficaz del espectro electromagnético asignado al servicio de televisión y desarrollar la expansión de la red de televisión), garantizar la calidad en los servicios de televisión (controlar y vigilar los contenidos de televisión, proteger

a los usuarios del servicio de televisión y televidentes y cualificar agentes para el mejoramiento de la producción y programación de la televisión) y fomentar el Desarrollo de la Industria de la Televisión y la Competitividad (formular políticas para la incorporación de nuevas tecnologías del servicio de televisión (Digital, IPTV, entre otros), impulsar el desarrollo de los agentes que componen la cadena de valor de la industria de televisión, fomentar la libre y leal competencia en el servicio de televisión y conocer e investigar la evolución de la industria de la televisión). [9]

Es así como la CNTV como ente directo encargado del servicio de televisión en Colombia vela porque este tenga un constante desarrollo, pensando siempre en el bienestar de los usuarios y del televidente.

## 1.4 ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN COLOMBIA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ANALÓGICA RADIODIFUNDIDA

Un factor importante a tener en cuenta para la prestación del servicio de televisión pública es la asignación de frecuencias en el espectro electromagnético. Dicho espectro es propiedad exclusiva de cada estado, y para el caso colombiano es gestionado, administrado y controlado por el Ministerio de Comunicaciones, encargado de asignar las frecuencias y otorgar los permisos necesarios para su utilización, además de velar por el uso adecuado de las mismas. La concesión de permisos para el uso del espectro da lugar al pago respectivo de los derechos correspondientes. Adicionalmente, el Ministerio de Comunicaciones cuenta con un Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia para llevar un orden y/o control en la operación de diversos servicios de telecomunicaciones en bandas de frecuencias definidas con anterioridad para cada uno de ellos. Por su parte, el espectro radioeléctrico hace parte del espectro electromagnético y se refiere al conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia se encuentra por debajo de 3000 GHz, ondas que se propagan por el espacio sin una guía artificial. [10]

Por su lado, como se mencionó anteriormente, la CNTV además de representar al Estado en la titularidad y reserva del servicio público de Televisión con los respectivos desarrollos que ello implica, interviene también en el espectro electromagnético pero en cuanto al servicio de televisión se refiere, es decir, por ley está en capacidad de intervenir, gestionar y controlar el uso del espectro electromagnético exclusivamente para la prestación del servicio público de televisión. [7]

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) realizó la distribución de frecuencias en el espectro electromagnético para cada uno de los servicios, y adicionalmente determinó ciertas zonas a nivel global donde se encuentran los diferentes países. Colombia pertenece a la Zona II y acogió la distribución de frecuencias para el servicio público de televisión establecida por la UIT, distribución que está dividida en cinco bandas en las que se encuentran incluidos los diferentes canales. Cada canal tiene asignado un ancho de banda de 6 MHz para el caso colombiano y están distribuidos tanto en VHF (Very High Frequency) como en UHF (Ultra High Frequency). Dicha distribución se puede observar a continuación: [6]

- BANDA I: CANAL 2 AL 4 - VHF (54 MHz – 72 MHz)
- BANDA II: CANAL 5 AL 6 - VHF (76 MHz – 88 MHz)
- BANDA III: CANAL 7 AL 13 - VHF (174 MHz – 216 MHz)
- BANDA IV: CANAL 21 AL 36 - UHF (512 MHz – 608 MHz)
- BANDA V: CANAL 38 AL 69 - UHF (614 MHz – 806 MHz)

Existen ciertas recomendaciones a tener en cuenta en la distribución de los canales de televisión en el espectro radioeléctrico. Por ejemplo, para transmitir en el canal 6 de VHF hay que tener cierto control frente a la interferencia que presenta con estaciones emisoras de Frecuencia Modulada (FM), según la recomendación 73.610d de la

Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos (FCC, Federal Communications Commission). Para estaciones de difusión operando por encima del canal 69 se debe tener precaución frente a interferencia con el espectro adyacente. El canal 37 no es utilizado para la radiodifusión del servicio de televisión puesto que dicho canal está asignado para el servicio de radioastronomía. De esta forma Colombia cuenta con una asignación de frecuencias en el espectro electromagnético para la radiodifusión del servicio público de televisión que incluye un total de 60 canales, de los cuales 12 se encuentran en la banda de VHF y 48 en la banda de UHF. [11]

La distribución de frecuencias del espectro radioeléctrico en Colombia para el servicio de Televisión radiodifundida se encuentra con más detalle en la figura 6 del anexo A.

## 1.5 PROCESO PARA LA ADOPCIÓN DE TELEVISÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA

Desde la formulación del Plan de Desarrollo de la Televisión para el periodo 2004-2007, la CNTV planteó la conformación de diversos grupos para realizar estudios acerca de la TDT, todo con el fin de poder analizar y proponer el estándar para transmisión de esta tecnología más adecuado para Colombia. En el año 2005 la CNTV generó un documento denominado "Guía para la Implementación de la TDT en Colombia", que fue elaborado bajo la metodología establecida por los países que hacen parte de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL), documento que tiene como objetivo evaluar las necesidades técnicas, socioeconómicas y culturales de un país con respecto a la radiodifusión del servicio de TDT. Adicionalmente, la CNTV dirigió este documento al Ministerio de Comunicaciones de Colombia para plantear la necesidad de iniciar estudios relacionados con la implementación de esta tecnología en el país, debido a que Colombia no podía quedar rezagada en el avance de la tecnología y más aún en el campo de la televisión por los diversos beneficios que trae para la sociedad. Es así como el Ministerio de Comunicaciones tras estudiar el documento facilitado por la CNTV se dio a la tarea de iniciar con el proceso de implementación en Colombia del servicio de TDT. [4]

La selección del estándar para la implementación en el país de la TDT fue una decisión de Estado y debió adoptarse bajo el liderazgo de la CNTV con la participación directa del Gobierno Nacional, la Academia, los Agentes del Sector, las Organizaciones Sociales y Técnicas y finalmente del Congreso de la República. Basándose en las acciones y directrices del estado colombiano para la implementación del servicio de TDT, la CNTV vio la necesidad de proponer la creación de un Consejo Asesor para el desarrollo de los estudios pertinentes del tema, conformado por diversas personas en representación de las entidades que a criterio del Ministerio de Comunicaciones y la CNTV debían conformar dicho consejo. En adición, la CNTV creyó pertinente la conformación de un Comité Técnico encargado de promover y desarrollar los estudios pertinentes para luego ponerlos a consideración del Consejo Asesor. Es así como el 9 de Febrero de 2007 en el despacho de la Ministra de Comunicaciones María del Rosario Guerra, se creo el Consejo Asesor y el Comité Técnico para la implementación del servicio de TDT en Colombia, como se puede ver en la tabla 1.

**Tabla 1. Consejo Asesor para la Implementación del Servicio de TDT en Colombia [4]**

| Entidad | Delegado |
|---|---|
| Ministerio de Comunicaciones | Dra. María del Rosario Guerra |
| Ministerio de Educación | Dr. Javier Orlando Torres |
| Ministerio de Cultura | Dra. Guiomar Acevedo |
| Comisión Sexta del Senado | H. Senador Dr. Jorge Hernando Pedraza Gutiérrez |
| Comisión Sexta de la Cámara de Representantes | H. Representante Dr. Ciro Antonio Rodríguez |
| Canales Regionales | Dr. Andrés Velásquez Castro |
| Canal Uno | Dr. Carlos Hernando Ramírez |
| Canales Nacionales de Operación Privada | Dra. Guiomar Sanín Posada |
| CINTEL | Dr. Manuel Martínez Niño |
| Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones | Dr. Ramiro Valencia Cossio |
| ACIEM | Dr. Julián Cardona Castro |
| ASOMEDIOS | Dr. Sergio Arboleda |
| Economista de las Universidades Privadas | Dr. Alejandro Gaviria Uribe |
| Economista de las Universidades Públicas | Dr. Gabriel Misas Arango |
| Ingeniero Electrónico Universidades Privadas | Ing. Abdel Karim Hay Harb. |
| Ingeniero Electrónico Universidades Públicas | Ing. Pedro Vera Vera |

En la tabla 2 se especifican las personas que conforman el Comité Técnico.

**Tabla 2. Comité Técnico para la Implementación del Servicio de TDT en Colombia [4]**

| Entidad | Delegado |
|---|---|
| Ministerio de Comunicaciones | Dra. Martha Castellanos |
| Ministerio de Comunicaciones | Dr. Joaquín Restrepo |
| Ministerio de Comunicaciones | Ing. Jaime Alberto Arango |
| CNTV | Ing. Rafael Mauricio Samudio |
| CNTV | Ing. Luís Eduardo Peña |

Ya desde antes de la creación del Consejo Asesor y del Comité Técnico, tanto la CNTV como el Ministerio de Comunicaciones adelantaron ciertos estudios acerca de la TDT. La CNTV por ejemplo, venía realizando pruebas técnicas desde Julio de 2006, capacitando a varios de sus funcionarios en el tema y para el mismo año llevó a cabo el primer foro sobre TVD en el país. Por su parte, el Ministerio de Comunicaciones había efectuado estudios e investigaciones sobre la implicación social, económica y cultural de la implementación de dicha tecnología en Colombia, basándose en la experiencia de otros países que ya habían adoptado el estándar respectivo y de aquellos que se encontraban en proceso. [4]

Para la inclusión de la TDT en el país no solo la CNTV, el Ministerio de Comunicaciones y los miembros del Consejo Asesor y el Comité Técnico eran quienes se encontraban al tanto de la tecnología. Los entes reguladores, los desarrolladores de tecnología, fabricantes de equipos, operadores del servicio de televisión, productores, agentes, representantes y proveedores de servicios de ingeniería del sector, entre otros, iniciaban también con sus propios estudios al respecto, todo con el fin de no quedarse atrás frente al avance constante que viene teniendo a nivel mundial la TVD. [4]

Ahora, con el inicio de este proceso surgieron unos objetivos claros y prioritarios como lo fueron la escogencia del estándar que más se ajustaba a las necesidades de Colombia, las políticas respectivas para dicho servicio, la planificación de canales y la optimización del espectro radioeléctrico, los beneficios sociales que trae la TDT, la transición de la televisión analógica a la digital y la convivencia paralela entre estas hasta el apagón analógico, la infraestructura necesaria, los productos de consumo, las proyecciones de ventas y precios, entre otros. Para cumplir con dichos objetivos, en principio se estableció un plan a seguir para llevar a feliz término la escogencia del estándar mas adecuado para el país. Dicho plan cuenta con cuatro ejes esenciales que se encargan de estudiar las implicaciones pertinentes en cada uno de ellos para la implementación del servicio de TDT en Colombia, así como de generar los resultados para dar a conocer a los entes encargados del proceso a seguir. Dichos ejes son el Técnico, el Social, el Económico y el Regulatorio. [4]

La CNTV junto a la Asociación Colombiana de Ingenieros (ACIEM) y RTVC realizaron diversas pruebas en el territorio colombiano con los diferentes estándares de TDT. Las ciudades en las cuales se hicieron dichas pruebas son Cartagena, Bogotá y Pereira. Para informar al país acerca del proceso para la adopción del estándar respectivo, la CNTV realizó diversos foros a nivel nacional donde se hizo una descripción de la tecnología como tal, se socializaron los estándares con los que se hicieron las diversas pruebas y se contó con la participación de la ciudadanía y los diversos sectores interesados en el paso que dio Colombia en el campo de la televisión. [4]

Desde el inicio de este proceso se procedió a establecer un cronograma donde se estipularon los pasos a seguir desde el 2005 en adelante para la implementación del servicio de TDT en el país. Finalmente, tras la elección del estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial) en Colombia, se iniciará con el Plan para la Implementación de esta tecnología, todo pensando en el bienestar de los usuarios y en general de la sociedad colombiana. Para mayor información acerca del cronograma de implementación de TDT remitirse al anexo A.

Cabe anotar que aunque la escogencia del estándar DVB-T en Colombia abre las puertas a la tecnología digital en el campo de la televisión para el país, se deben hacer los estudios pertinentes en el campo de la TVDM pensando en su implementación a futuro y sin olvidar que son tecnologías similares pero independientes. Teniendo en cuenta esta consideración para la adopción de la TVDM por parte de Colombia, a continuación se establecen ciertos aspectos que describen parte del entorno colombiano a tener en cuenta para la inclusión de esta tecnología y que sirven como soporte en la definición de los criterios para su implementación en el país, específicamente en teléfonos celulares.

## 1.6 ENTORNO COLOMBIANO

Colombia muy seguramente iniciará los estudios pertinentes para la implementación de la TVDM en teléfonos celulares en el país en los próximos años. Para realizar dicho estudio se deben establecer diversas consideraciones a tener en cuenta para la escogencia del estándar más adecuado para la prestación de este servicio, que supla en general todas las características y especificaciones establecidas por Colombia. Debido a que el caso de estudio de este Trabajo de Grado es el entorno colombiano, es necesario tener en cuenta ciertos aspectos claves del mismo para la definición de los criterios técnicos de la implementación de esta tecnología en el país. Entre otros, se encuentran la geografía de Colombia, el estándar elegido para TDT, la infraestructura para televisión analógica y para telefonía móvil, los actuales operadores de telefonía móvil y la disponibilidad de frecuencias del espectro radioeléctrico en el país. A continuación se expone cada uno de los anteriores.

### 1.6.1 Geografía Colombiana

Colombia cuenta con un área continental de 1.141.748 Km.² y un área marítima de 928.660 Km², para una superficie total de 2.070.408 Km². El territorio colombiano presenta en general una geografía accidentada que se divide en una zona montañosa y una zona plana. La región montañosa es bastante nutrida y compleja, constituida en principio por la cordillera de Los Andes que penetra en el país por el suroccidente en el departamento de Nariño, punto en el cual

se forma el Macizo de Los Pastos y donde se desprende parte hacia el occidente de Colombia formando la cordillera Occidental, y hacia el centro y oriente por los departamentos de Cauca y Huila formando el Macizo Colombiano, con una bifurcación que da origen a las cordilleras Central y Oriental respectivamente. Por su parte, las zonas planas están ubicadas al este de la cordillera Oriental, conocido como los Llanos Orientales, al oeste de la cordillera Occidental, al norte del país, así como en los valles y altiplanos interandinos. El conjunto de las tres cordilleras, la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de la Macarena, otras cadenas montañosas más pequeñas y las zonas planas definen las características topográficas del país.

Al realizar el estudio para la implementación del servicio de TVDM para teléfonos celulares es necesario contar con información de las características generales de las zonas montañosas y de las extensiones planas, como elevación sobre el nivel del mar, longitud, entre otros, y así determinar los puntos ideales para la ubicación de los emplazamientos a lo largo del territorio, teniendo como objetivo principal dar cobertura del servicio al 100% del territorio colombiano. Adicionalmente, el multitrayecto en un entorno geográfico accidentado influye significativamente en la calidad de la señal original, fenómeno que al no ser tratado correctamente puede degradar la señal percibida en el teléfono móvil. Esta consideración es importante ya que dentro del proceso de estudio para la implementación de esta tecnología en el país, el estándar respectivo para la prestación del servicio debe manejar correctamente las características del territorio colombiano para la prestación óptima de dicho servicio.

### 1.6.2 Estándar de Televisión Digital Terrestre en Colombia

El estándar elegido por Colombia para la difusión del servicio de TDT es el DVB-T, y su grupo desarrollador tiene el estándar para recepción en dispositivos móviles que recibe el nombre de DVB-H (Digital Video Broadcasting-Handheld). Este estándar tiene una alta factibilidad para ser escogido en el país para el sistema móvil gracias a la elección de DVB-T y tomando como ventaja su desarrollo gracias al mismo grupo creador, además que parte de la infraestructura de red para la difusión terrestre (transmisores, multiplexores, etc.) puede ser utilizada en la difusión hacia terminales móviles, que en cierta medida posibilita la reducción en costos de implementación, mantenimiento, entre otros. Por esta razón, los actores involucrados en este proceso probablemente le apostarán a trabajar en conjunto para la implementación de la red y de la tecnología en Colombia. No hay que olvidar que los dos estándares y sistemas en general son independientes el uno del otro, es decir, pueden trabajar por separado. Cabe anotar entonces que independientemente del estándar elegido por el país para TDT, es posible implementar una red exclusivamente para difusión de TVDM hacia teléfonos celulares con un estándar en particular, e incurrir en la construcción de la misma por parte de los interesados.

### 1.6.3 Infraestructura de la Televisión Analógica Radiodifundida y Telefonía Móvil en Colombia

Esta consideración es importante en el momento de la planificación de la red para la prestación del servicio de TVDM hacia teléfonos celulares, debido a que varios de los emplazamientos disponibles tanto en la infraestructura de la televisión analógica y digital radiodifundida como de la telefonía móvil pueden ser reutilizados para la ubicación de los transmisores y/o repetidores de esta tecnología.

El servicio público de televisión abierta radiodifundida en Colombia cuenta con estaciones de difusión de muy baja, baja, mediana y alta potencia. Entre los canales públicos, privados y regionales el país posee 483 estaciones de difusión para dar cubrimiento del servicio en el 92% del territorio colombiano. Por su parte, la telefonía móvil en Colombia actualmente es ofrecida por operadores como TIGO (Colombia Móvil junto al grupo de origen sueco Millicom International Cellular S.A.), COMCEL (compañía mexicana América Móvil) y MOVISTAR (grupo español Telefónica), cada uno de los cuales cuenta con sus respectivos emplazamientos, algunos de los cuales son compartidos entre si. Por seguridad esta información es restringida y para tener acceso a la misma se deben gestionar los permisos pertinentes.

### 1.6.4 Espectro Radioeléctrico en Colombia

Colombia tiene una distribución de frecuencias para la prestación del servicio público de televisión abierta radiodifundida en las bandas I, II, III, IV y V del espectro radioeléctrico, frecuencias que se encuentran asignadas según el Plan de Utilización de Frecuencias establecido por la CNTV y con la reciente adopción del estándar de TDT se debe hacer la asignación de frecuencias respectivas para la prestación de dicho servicio. Debido a que la televisión analógica radiodifundida en Colombia ocupa gran parte del espectro radioeléctrico, no se cuenta con la disponibilidad necesaria de las frecuencias más adecuadas para la prestación de esta nueva tecnología. Es necesario que la CNTV estudie el actual plan de utilización de frecuencias buscando asignar los canales de la Banda III de UHF para garantizar una buena recepción del servicio por parte de los usuarios, canales que por sus características permiten optimizar las ventajas de la TDT.

El entorno colombiano planteado anteriormente se tendrá en cuenta dentro de la definición de los criterios técnicos para la implementación en Colombia del servicio de TVDM, que junto a la descripción y comparación de los diferentes estándares permitirá establecer cual de éstos se adapta mejor técnicamente a las características del país. De esta forma se establece la situación actual de la televisión en Colombia donde se puede ver la evolución que ha tenido desde sus inicios en el país y el paso que dará en los próximos años hacia el mundo digital y especialmente a teléfonos celulares.

# 2. DEFINICIÓN Y COMPARACIÓN TÉCNICA DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES

En este capítulo se exponen las topologías de difusión de TVDM y se hace una descripción detallada de los estándares más importantes que han sido creados con el fin de llevar esta tecnología a teléfonos celulares, con sus respectivas características y especificaciones, para finalmente realizar una comparación técnica entre los más desarrollados hasta el momento y la adaptación que estos presentan al entorno colombiano.

## 2.1 TOPOLOGÍAS PARA LA DIFUSIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL HACIA TELÉFONOS CELULARES

Existen dos tipos de comunicación para la transmisión de la señal de TVDM. Por un lado se encuentra la comunicación punto a punto, donde la señal es transmitida desde una única fuente de información o emisor hacia un único dispositivo móvil o receptor. Por otro lado está la comunicación punto a multipunto, donde el emisor distribuye el mismo contenido a un número significativo de receptores, si no a todos, en una transmisión única. [13]

La difusión de la TVDM tiene diversos mecanismos para ser entregada al usuario final y que se diferencian por el tipo de red que utilizan. Los dos grupos más importantes son las redes de transmisión celular y las redes de difusión *broadcast*[1]. Cabe anotar que este Trabajo de Grado está enfocado hacia los estándares que utilizan las redes *broadcast* para la difusión de TVDM por las capacidades que manejan, pero en la descripción de las redes celulares se expondrá también el estándar utilizado por las mismas para la transmisión de TVD hacia teléfonos celulares ya que es importante conocer como prestan este servicio. Para entender más acerca de los dos tipos de redes a continuación se hace una breve descripción de cada uno de ellas. [14]

### 2.1.1 Redes de Transmisión Celular

La difusión del servicio de TVD a través de las redes de transmisión celular se puede clasificar en dos tipos, *unicast* y *multicast* tal como se describe a continuación:

- **Unicast:** Difusión punto a punto soportada por una red celular donde la señal es transmitida desde una única fuente de información o emisor hacia un único teléfono móvil celular. El canal de voz de usuario de las redes de telefonía móvil es usado para enviar la señal de TVD, pero debido a que estas redes no cuentan con un ancho de banda suficiente para soportar este tipo de señal, el video no es de óptima calidad. En la figura 2 se puede ver el tipo de difusión *unicast*, donde el color diferente de las flechas indica que para cada usuario se realiza una transmisión particular. [13] [14]

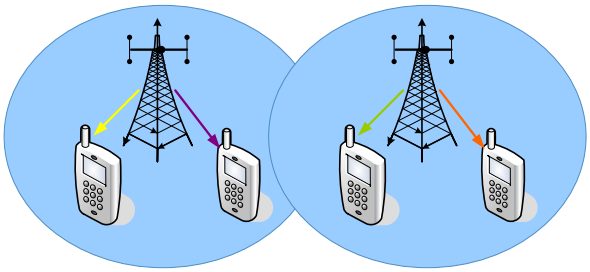


**Figura 2. Transmisión *Unicast***

[1] Modo de transmisión de información desde un único nodo emisor a todos los nodos receptores.

- **Multicast:** Difusión punto a multipunto donde el emisor distribuye el mismo contenido a un número significativo de receptores en una transmisión única. El estándar de televisión digital móvil más conocido que opera a través de redes celulares es el Mobile Broadcast Multicast Service (MBMS) donde la forma de transmitir la señal de TVD es reservar parte del ancho de banda de la red celular para difundir simultáneamente los contenidos a múltiples usuarios. De esta forma se dispone de un ancho de banda mayor comparado con el del caso *unicast*, permitiendo así la transmisión de video de mejor calidad, aunque sigue estando limitada por el ancho de banda disponible en las redes celulares. Adicional a esto, la difusión de TVD consume una gran cantidad de recursos de la red de telefonía móvil, donde para el mejor de los casos dependiendo de la tasa de transmisión, 10 canales de voz se dejan de utilizar por cada canal de video digital. En la figura 3 se puede ver el modo de transmisión *multicast,* que muestra la forma de difusión de la señal, donde el mismo color de las flechas indica que se realiza una transmisión para varios usuarios. [13] [14]

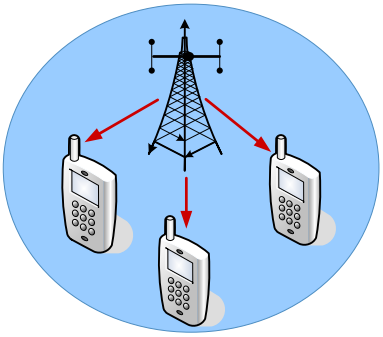


**Figura 3. Transmisión *Multicast***

La tradición de las redes celulares ha sido entregar servicios a los usuarios con un modelo punto a punto y ha sido bastante tedioso pasar a un modelo punto a multipunto, motivo por el cual se han hecho esfuerzos por parte de los desarrolladores para lograr este objetivo. Por tal motivo, el Proyecto de Promotores de la Tercera Generación (3GPP, 3rd Generation Partnership Project) ha dedicado parte de sus esfuerzos en la consecución de este tipo de transporte dentro de la red por medio de ciertas especificaciones como el Servicio de Difusión Celular (CBS, Cell Broadcast Service) y el Soporte *Multicast* IP (IPMS, IP Multicast Support). CBS está enfocado en la transmisión punto a multipunto de datos a bajas tasas y para lograrlo se definen las celdas específicas donde se pretende brindar el servicio, junto con un canal de conexión específico para los usuarios pertenecientes a dicha celda para que estos puedan recibir la información. La desventaja es que la cantidad de contenidos transmitidos está limitada por las tasas de datos disponibles, aunque tiene como ventaja la prestación del servicio a varios clientes dentro de un área determinada y sin utilizar un ancho de banda elevado. Por su parte, IPMS está enfocado a la recepción de datos IP *multicast* por parte de los clientes. La desventaja de este método radica en que la información es enviada hacia el usuario en forma de flujos punto a punto, donde por cada usuario se debe transmitir la totalidad de los datos, obteniendo una ganancia *multicast* de 1, es decir, por un flujo de información que se envía un solo usuario recibe dicho flujo. [15] [16]

El MBMS establecido por el 3GPP facilita la entrega eficiente de información y servicios simultáneamente a uno o varios usuarios, sin la necesidad de establecer un enlace particular para cada cliente. En general, MBMS es una tecnología para radiodifusión de contenidos IP Datacast por medio de las redes celulares actuales, que dentro de sus características se encuentra un enlace ascendente para interactuar con el usuario, diferente a las redes de difusión *broadcast* de TVDM que por naturaleza son unidireccionales.

MBMS proporciona dos modos de operación que son el *broadcast* y el multicast. En el modo *broadcast* la red no tiene necesidad de conocer específicamente los usuarios que se encuentran en un área determinada donde se

pretende ofrecer el servicio, transmitiendo la información al sector específico donde se pretende dar cobertura. En el modo *multicast* los clientes deben solicitar un servicio en particular por medio de la petición respectiva, por lo que los datos son enviados exclusivamente a un número conocido de usuarios. MBMS permite la prestación de diversos servicios como televisión, video *streaming*, entre otros. Esta tecnología saca ventaja de la infraestructura existente para redes celulares, y los costos de su implementación sobre la red existente son significativamente más económicos en comparación a la construcción de una nueva red para la prestación de estos servicios. [15] [16]

El MBMS incluye dos especificaciones propias como el MBMS Bearer Service y el MBMS User Service (US) donde el primero incluye además un modo *multicast*/*broadcast* y utiliza direcciones *multicast* IP para el manejo de los flujos IP, donde los recursos de transmisión son compartidos en el núcleo de la red. En este caso MBMS utiliza un esquema sofisticado de conteo para decidir la utilización de uno o más canales y lograr así una utilización eficiente del sistema. Las tasas de trasmisión para esta especificación dependen del dimensionamiento de la red. Ahora, el MBMS User Service no es más que la capa de servicio MBMS, que ofrece métodos de descarga y *streaming*. Este último es usado para transmisiones contínuas como televisión móvil, mientras que el método de descarga es utilizado, como su nombre lo indica, para la descarga de aplicaciones y la utilización de las mismas. Para aumentar la confiabilidad de la transmisión se utilizan métodos de corrección de errores como FEC (Forward Error Correction), donde la reparación de los datos recibidos se tiene en cuenta para complementar los métodos de descarga. [15] [16]

Para brindar TVD, MBMS realiza la codificación de sus fuentes de video por medio del estándar MPEG-4 P-10 H.264 (Moving Picture Experts Group – 4 Parte 10 Advanced Video Coding H2.64), mientras que el audio es codificado con MPEG-4 P-3(Moving Picture Experts Group – 4 Parte 3). Los servicios MBMS utilizan el espectro disponible para redes de tercera generación (3G, Third Generation) donde sus frecuencia de operación se encuentran en los 850, 900, 1800, 1900 y 2100 MHz, y el ancho de banda del canal es de 5 MHz. Respecto al esquema de transmisión utilizado, este sistema se basa en las tecnologías 3G con modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), ofreciendo una eficiencia espectral de 0.15 a 0.3 bps/Hz. En cuanto a este esquema de modulación, su ventaja radica en que puede transmitir datos simultáneamente pero en escenarios donde haya solamente una antena de transmisión que no comparta la interfaz radio. Además, utiliza uno de los más recientes y eficaces códigos de corrección de errores como lo es el código Turbo. [15]

MBMS hereda de las redes celulares las características de óptimos mecanismos en cuanto al manejo del *seamless handover*, una técnica de transmisión discontinua que reduce considerablemente el consumo de potencia de los terminales y posibilita realizar traspasos transparentes al usuario entre celdas, y eficiencia de la señal ante condiciones de movilidad. Sin embargo, el buen manejo de estas características se ve disminuido con respecto al manejo del sistema ante la cobertura, ya que en este aspecto la TVDM ofrecida por el sistema MBMS posee valores de cobertura muy pequeños alcanzando niveles máximos por trasmisor de hasta 2 Km, esto debido también a los bajos niveles de potencia y las altas frecuencias manejadas por los sistemas móviles celulares. Respecto a las tasas de transmisión de datos de MBMS, con un canal de 5 MHz es posible manejar 1.5 Mbps y para niveles de tasas de datos máximas de un solo servicio se logran 256 Kbps, que es poco en comparación con las tasas de datos logradas por los sistemas netamente *broadcast*, con lo que se concluye que MBMS no puede ser usado para transmitir múltiples canales con excelente calidad, además de no poseer suficiente robustez para cubrir la totalidad de un determinado territorio. [15]

MBMS al operar sobre los sistemas de acceso de telefonía celular 3G puede resultar económicamente muy factible para su implementación, ya que cuenta físicamente con una infraestructura ya establecida. Así mismo, sus terminales, siempre y cuando sean 3G, pueden usar la misma antena y el chip receptor para recibir los servicios. Con estas consideraciones, los cambios que MBMS impondría sobre las redes 3G se relacionan con el *software*. Las redes 3G se encuentran desplegadas principalmente en Europa, Asia y parte de Norteamérica. Por su parte, Latinoamérica se encuentra recientemente migrando hacia estas tecnologías y Colombia en particular cuenta solo con dos empresas de telefonía móvil como COMCEL y TIGO brindando servicios 3G, cubriendo con su red solo parte

del territorio colombiano. MOVISTAR por su parte tiene desplegada parte de esta red 3G pero aún no ofrece servicios a través de ella. La tabla 3 muestra las principales características ofrecidas por el sistema MBMS para brindar televisión a teléfonos celulares soportada sobre la red de telefonía móvil.

**Tabla 3. Principales Características del Sistema MBMS [17] [18] [19]**

| Características | |
|---|---|
| Modulación | WCDM con modulación: QPSK, |
| Tasas de codificación | Turbo |
| Intervalo de guarda | No es necesario |
| Ancho de banda del canal | 5 MHz |
| Bandas de frecuencia | (1920 – 1980 - 2110 – 2170 - 2025) MHz |
| Video | MPEG-4 P-10 H.264 352 x 288 Píxeles resolución SDTV QVGA |
| Audio | MPEG-4 P- 3 AAC-HE Profile norma ISO/IEC 14496-3 |
| Tasa de datos Maxima multiplexada | 1.5 Mbps |
| Tasa de datos máxima multiplexada en escenarios reales | Superior a 1.5 Mbps |
| Tasa de datos máxima por servicio | 0 – 256 Kbps |
| Máxima distancia alcanzada por transmisores | 500 mts – 2Kmts |
| Posibilita la recepción en velocidades superiores a 120 Km/h resolución SDTV | |
| Posibilita operaciones de seamless handover | |
| Máximo de hasta 40 canales móviles SDTV | |

Por lo mencionado anteriormente, la solución MBMS es una buena opción para brindar TVD orientada a dispositivos móviles, particularmente a teléfonos celulares, ya que técnicamente ofrece buenas soluciones para que un usuario acceda al servicio. Sin embargo, no es lo suficientemente robusto y flexible para brindar el servicio a audiencias masivas con capacidad para trasmitir altos niveles de datos, soportado con buenos mecanismos que predigan errores de transferencia, además de soportar variadas configuraciones dependiendo de la geografía del país. Además, dentro de las posibilidades de las redes celulares 3G no esta el ofrecer TVD a teléfonos celulares en forma gratuita, consideración que Colombia muy seguramente tendrá en cuenta para ofrecer este servicio. Si se parte del hecho de que la televisión analógica es uno de los medios de comunicación masivos por excelencia, la TVD tendrá que suplir de ahora en adelante su "ausencia", razón por la cual es importante que las tecnologías que se implementen en el país para reemplazar la televisión saliente cumplan con las características mencionadas, permitiendo que el usuario final pueda acceder a contenidos de óptima calidad en cualquier momento y lugar. Por lo mencionado anteriormente y cumpliendo con el enfoque de este Trabajo de Grado, la viabilidad de un estándar de TVDM para Colombia se realizará analizando los sistemas ofrecidos por las redes de difusión *broadcast*, ya que estas cumplen con los requerimientos necesarios para Colombia.

### 2.1.2 Redes de Difusión *Broadcast*

Las redes *broadcast* utilizan el esquema de difusión punto a multipunto donde el emisor distribuye el mismo contenido a todos los receptores en una transmisión única, operando con tecnologías creadas específicamente para la transmisión de contenidos de TVD y multimedia a teléfonos celulares. Este tipo de redes no presentan limitación de capacidad de difusión pero no cuentan con un canal de retorno para interactividad, para lo cual hace uso de una red alterna. Este sistema trabaja con una red propia e independiente que opera paralelamente a la red celular en una banda de frecuencia separada, es decir, se cuenta con un canal para la transmisión de la señal de TVDM aislado de la red celular, dejando de lado las limitantes de ancho de banda nombradas anteriormente para redes celulares. Al tener un canal dedicado para la transmisión de la señal de TVDM, el usuario final recibe en el teléfono celular esta señal de mejor calidad en comparación a la recibida por medio de la red celular. Cabe anotar que el conjunto de la

red de difusión de TVDM y la red de telefonía móvil permite ofrecer gran variedad de servicios, donde la red celular se utiliza como canal de retorno o de subida para llevar la información que emite el usuario, y la red de difusión o de bajada para descargar los contenidos de TVDM. En la figura 4 se puede ver el modo de difusión *broadcast*, donde se realiza una única transmisión de la señal a la totalidad de usuarios en un área de cobertura específica. [13] [14]

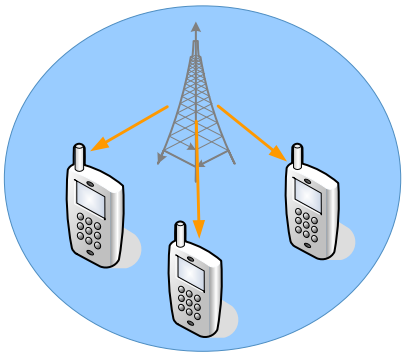


**Figura 4. Transmisión *Broadcast***

Al terminar con la descripción de los diferentes tipos de difusión del servicio de TVDM, se puede ver que según las especificaciones de cada tipo de comunicación las redes punto a multipunto presentan ciertas ventajas frente a las redes punto a punto en gran medida por la capacidad que poseen, aunque también presentan desventajas por el despliegue adicional de infraestructura, traducido en mayores costos de inversión. En conclusión, la opción más adecuada es la combinación de los tres tipos de comunicación como lo son *broadcast*, *multicast* y *unicast*, para contar con un sistema robusto de alta capacidad, optimizando además los costos referentes a inversión. Así, se pueden transmitir los programas y contenidos de mayor audiencia en *broadcast* y los de menor audiencia y/o más especializados en *multicast* y *unicast*. [13] [14]

Debido a que este Trabajo de Grado está enfocado hacia las redes *broadcast,* a continuación se exponen los estándares que utilizan este tipo de redes para la difusión de TVDM.

## 2.2 ESTÁNDAR DVB-H

DVB-H es una extensión de la norma DVB-T incorporada en 2004 para definir el formato de distribución de Televisión Digital Terrestre a terminales portables y móviles. En un principio DVB-H creció en torno al estándar terrestre y sus formatos de las fuentes tanto de video como audio se codificaron mediante el estándar MPEG-2, pero los requerimientos de movilidad no encontraban solución con esta norma. Debido a esto se genero la extensión del estándar en la norma ETSI 300 744 V1.5.1 anexo F y la ETSI 302 304 V1.1.1, con lo cual se adoptó la norma MPEG-4 para la compresión de fuentes, además de generarse modificaciones en la capa de enlace. Estas innovaciones han hecho de DVB-H un elemento clave en las comunicaciones móviles, ya que ha logrado procesar en modo difusión, contenido multimedia IP a teléfonos móviles con altas velocidades de transmisión de hasta 10Mbps y con áreas de cobertura que abarcan los 40Kmts por transmisor. [20]

Tanto el estándar DVB-T como el DVB-H, entre otros, utilizan el sistema de multiportadora modulada en QPSK, 16QAM y 64QAM. Este método se conoce como Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada (COFDM, *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*), donde la palabra *Coded* significa que la señal digital, antes de ingresar al modulo del esquema de transmisión OFDM, es codificada por un código corrector de errores, aumentando significativamente la fuerza de la señal digital ante interferencias provenientes del medio de transmisión. [20]

### 2.2.1 Características del Sistema

A diferencia del estándar DVB-T, el DVB-H basa su funcionalidad en la evolución técnica del estándar MPEG-2 a MPEG-4. La figura 5 muestra las principales características técnicas del estándar, mientras que en la figura 5 se pueden ver la variaciones realizadas al esquema de transmisión de DVB-T por parte del estándar DVB-H.

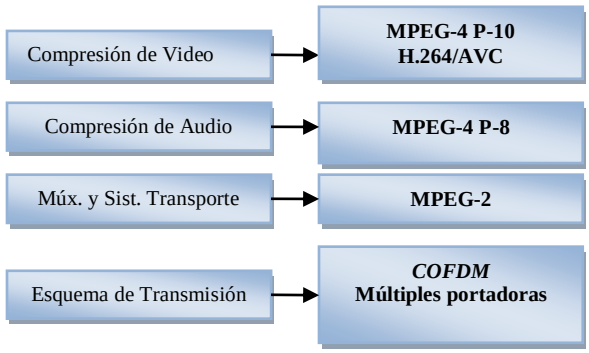



**Figura 5. Principales Características del Estándar DVB-H [20]**

- **Compresión de Video:** MPEG-4 desarrolló dos partes de su norma en lo referente al video, la norma ISO/IEC 14496-2 MPEG-4 Parte 2 y la ISO/IEC 14496-10 MPEG-4 Parte 10, técnicamente igual al estándar ITU-T H.264. Ambas recomendaciones trabajan con calidad similar, pero H.264 opera a la mitad ó tercera parte de velocidad, muy buena calidad de imagen SDTV (Standard Definition Television), opera con bajas y altas tasas de bits, aplicación en RF, redes IP y telefonía. [17] [20]

- **Compresión de Audio:** Implementación del MPEG-4 Parte 3 norma ISO/IEC 14496-3, que contiene un conjunto de Codificación y Decodificación de flujos de audio. Incluyen variantes de AAC (Advanced Audio Coding). [17] [20]

- **Multiplexación:** la multiplexación utilizada por DVB-H se realiza sobre el mismo sistema del estándar DVB-T, utilizando MPEG-2 norma ISO/IEC 13.818-1. [17] [20]

- **Esquema de Transmisión COFDM:** Este esquema realiza la codificación del canal ofreciendo técnicas de corrección de errores, modulando la señal de TVDM con esquemas de modulación tales como QPSK, 16QAM. DVB-H basa la funcionalidad de este esquema de forma similar a DVB-T con algunas modificaciones y adiciones. En la figura 6 se puede observar el esquema de transmisión COFDM de DVB-H donde los módulos sombreados son las modificaciones ó adiciones realizadas por DVB-H sobre el esquema de transmisión tradicional también utilizado por DVB-T. La descripción detallada de los módulos de la figura (secciones en azul claro) se encuentra en el anexo B. [17] [20]

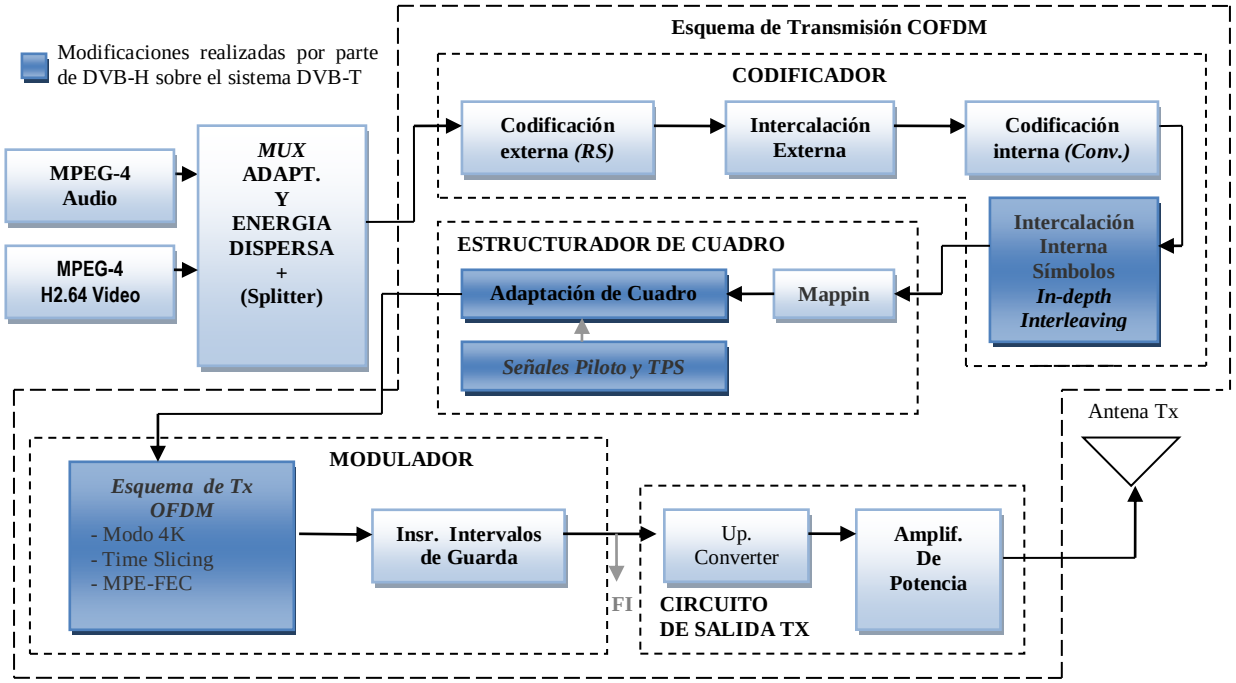



**Figura 6. Modificaciones y/o variaciones realizadas al Esquema de Transmisión de DVB-T por parte del Estándar DVB-H [17] [20] [21]**

La descripción del esquema de transmisión tradicional (módulos en azul claro de la figura), se puede encontrar con más detalle en el anexo B.

DVB-H se construyó sobre los principios de operación de DVB-T, al cual se le han agregado ciertos elementos funcionales necesarios para los requerimientos del entorno de recepción en dispositivos móviles. Ambos estándares se soportan sobre la misma capa física, pero es la combinación de los elementos tanto de esta capa como los de la capa de enlace los que le dan a DVB-H una total composición de conceptos. Al igual que DVB-T, DVB-H puede soportar entramados MPEG-2 y esquema de transmisión OFDM, pero las principales mejoras que introduce DVB-H (capa de enlace) incluyen ahorro de batería de los dispositivos a través de técnicas como *Time Slicing,* e incremento de la robustez ante posibles errores de transmisión mediante la inserción del protocolo *MPE-FEC* (Multi Protocol Encapsulation - Forward Error Correction). Una de las ventajas de este estándar orientado para acceso móvil es que su funcionamiento es independiente del estándar base elegido para la transmisión terrestre. [20]

El sistema DVB-H soporta la transmisión de señales con el protocolo IPDatacast. El encapsulador IP DVB-H tiene la tarea de encapsular los paquetes IP obteniendo flujos TS MPEG-2 (Transport Stream MPEG-2) a la salida del mismo. Estos flujos pueden ser multiplexados con otros servicios DVB-H ó DVB-T para luego ser modulados por medio del modulador DVB-H, el cual es el mismo modulador DVB-T ampliado. Una vez la señal alcanza el receptor, este la demodula desencapsulando el tráfico IP proveniente de secciones MPE transportadas sobre los flujos de datos TS MPEG-2. [17]

Dado que el estándar DVB-H surge a partir del DVB-T, sus principales similitudes y/o diferencias se encuentran en el análisis de sus capas Física y de Enlace, en las cuales se incluyen los elementos técnicos como el *Time Slicing,* identificador de celda y señalización DVB-H, que son obligatorios para la operación del sistema ya que los otros elementos técnicos pueden ser combinados arbitrariamente. [21]

A continuación se describen la capa física y de enlace del estándar DVB-H.

### 2.2.2 Capa Física

DVB-H utiliza la capa física del estándar DVB-T, pero debido a que el objetivo del sistema DVB-H es acceder a dispositivos móviles portando la señal de TVDM, las variaciones a realizar sobre la capa física del sistema DVB-T deben ir orientadas hacia una planificación más flexible de las redes móviles y redes de frecuencia única SNF (Single Frecuency Network, por sus siglas en ingles), a alta velocidad, con una señalización óptima y alta robustez ante ruido impulsivo. Las principales modificaciones técnicas dirigidas al uso del sistema DVB-H, tal como se puede ver en la figura 5, son las siguientes:

- **Símbolo *In-depth Interleaving*:** Dentro de los modos 8K, 4K y 2K, el modo 8K es el que ofrece de dos a tres veces mayor protección contra ruido impulsivo. Es por esto que buscado una mayor protección de la señal en los modos 4K y 2K, DVB-H implementó este bloque, mejorando así la protección de la señal ante este tipo de ruido. [22]

- **Adaptación de Cuadro y Señalización DVB-H con bits TPS:** El objetivo de la adaptación ó señalización DVB-H es proporcionar a la señal un acceso robusto y fácil hacia los receptores DVB-H, que por su parte optimizan e incrementan el descubrimiento de servicios con muy bajos niveles de C/N, acelerando el proceso de demodulación y decodificación. El sistema DVB-H utiliza dos bits TPS (Bits-Transmission Parameter Signalling) para indicar la presencia de *Time Slicing* ó servicios opcionales MPE-FEC. Uno de los parámetros obligatorios en la señalización por medio de los bits TPS es el del identificador de celda ya que en redes de SFN hay una sola celda identificada para toda la red. La señalización TPS es obligatoria en DVB-H. [22]

- **Modo 4K**: El modo de transmisión 4K es un modo intermedio entre los modos 2K y 8k, cuyo objetivo es el de ser un intermediario en la operación de recepción de señales en dispositivos móviles mediante redes SFN a altas velocidades y con un único transmisor, ofreciendo un alto grado de flexibilidad en el diseño de redes móviles DVB-H, equilibrando la cobertura, ofreciendo alta eficiencia espectral, mayor capacidad de recepción móvil y mayor inmunidad ante ruido impulsivo. El modo 4K utiliza la FFT (Fast Fourier Transform) 4096 y opera conjuntamente con el símbolo *in-depth Interleaver* y en comparación con los modos 2K y 8K, 4K ofrece una duración de los símbolos OFDM mas larga, obteniendo intervalos de guarda también mas largos y que permite diseñar redes SFN medianas, espectralmente eficientes y aptas para DVB-H. [22]

  Aunque 4k es el modo implementado por el estándar, los modos 2K y 8K no son excluyentes, y la adecuada combinación de ellos en determinados escenarios de la red DVB-H puede ofrecer un mejor desempeño del sistema. En comparación con los modos 2K y 8K, el modo 4K unido con el símbolo *in-depth Interleaver* no requiere memoria extra ni mayores consumos de batería. La implementación de este modo se ve reflejada, con cambios menores, en el modulador del transmisor y en el receptor ya que los filtros son diferentes, concluyendo que un receptor DVB-T no puede acceder a la señal DVB-H si no tiene las respectivas modificaciones, mientras que un receptor DVB-H si puede acceder a la señal emitida por DVB-T. [22]

### 2.2.3 Capa de Enlace

La capa de enlace del sistema DVB-H soporta dos de las principales modificaciones hechas por el estándar sobre DVB-T. Los parámetros que impulsaron dichas modificaciones determinan el desempeño de la red móvil desde la transmisión hasta la recepción. Estos parámetros contemplan el control del consumo de batería en los dispositivos receptores y garantizan una señal constante de celda en celda a altas o bajas velocidades sin que sea necesario incrementar el número de antenas receptoras o costo de los equipos. El *Time Slicing* y el MPE-FEC son los elementos técnicos que dan solución a estos parámetros. A continuación se describen cada uno de ellos:

- ***Time Slicing*:** Es un elemento técnico obligatorio del sistema DVB-H, que utiliza un módulo de multiplexación en tiempo para el encapsulamiento de los paquetes IP con el objetivo de reducir el consumo de energía de los dispositivos móviles, que deben estar adaptados para este mecanismo. Las ráfagas *Time Slicing* se generan en el encapsulador IP, posteriormente se insertan los datos en secciones del protocolo MPE (Multi Protocol Encapsulation) y luego se transmiten utilizando progresivamente la mayor tasa de bits y en menos tiempo, en comparación con la tasa neta requerida por el servicio si se utilizaran los mecanismos tradicionales de *streaming,* consiguiendo que el terminal no requiera estar recibiendo y procesando los datos transmitidos. El receptor conoce los instantes en los que recibirá la ráfaga de datos correspondiente al servicio deseado a través de la señalización en tiempo real del parámetro *delta-t*, permitiéndole al receptor permanecer inactivo cuando no se reciben datos de su ráfaga. Esto significa que el receptor está inactivo (off) durante la mayor parte del tiempo, consiguiendo ahorros de hasta el 90% de energía. Durante el tiempo de apagado el receptor puede monitorear las celdas vecinas (en un tiempo menor a 20 ms), siendo en teoría posible realizar un *seamless handover*[2] (sin corte en el servicio recibido). El costo de este ahorro de energía implica una alta capacidad de memoria en el terminal (2 Mb), además retardos que se introducen y que pueden llegar a ser importantes según la configuración del sistema. Dichos retardos pueden producir molestias a un usuario al cambiar de canal (*zapping*). [22]

- **La trama MPE-FEC:** Es una matriz con 255 columnas y un número flexible de filas el cual actúa como un mecanismo adicional de protección, beneficiándose de dos efectos combinados. Por un lado, proporciona un entrelazado temporal de la señal haciéndola más robusta en entornos móviles, mejorando la relación señal a ruido C/N ante el efecto *doppler*, además de optimizar la tolerancia a interferencia de ruido impulsivo, y por otra, añade un código *RS* (Reed Solomon) (255, 191), para recuperar errores. Lo anterior se logra implementando MPE FEC en la capa MPE. Haciendo un cálculo a partir de los datagramas (o información a transmitir), se empaqueta y se envían los datos IP en secciones separadas MPE. Posteriormente los segmentos MPE son fragmentados para el trasporte interno del sistema en paquetes TS MPEG-2, obteniendo datagramas libres de errores aun en las peores condiciones de interferencias. Así es como el sistema disminuye la probabilidad de errores de transmisión. Las configuraciones típicas del MPE-FEC dependen de la tasa de codificación, ya sea 1/1, 1/2, 7/8, 5/8, 3/4, 2/3. A modo de ejemplo, en 1/1 no se cuenta con código redundante, mientras que en 1/2 por cada símbolo se añadirá otro de redundancia, que se puede compensar escogiendo una tasa de codificación inferior. Desde el punto de vista de los receptores, si algunos de ellos no son compatibles con MPE-FEC pero capaces de codificar MPE, pueden recibir efectivamente el flujo de datos. [22]

- **Encapsulador IP:** Las tareas básicas que lleva a cabo el encapsulador IP son las de gestionar los datos IP de entrada (datos a encapsular), construcción de tramas, cálculo del FEC, creación de las secciones MPE y MPE-FEC, generación de la información del sistema SI (System Information) y paquetes TS MPEG-2, y la respectiva multiplexación entre ambos. Inicialmente los datagramas IP son transportados en secciones MPE-FEC, donde cada una de estas ráfagas es señalizada y sincronizada mediante el tiempo *delta-t*. Cada ráfaga consta de dos tablas, ADT (Aplication Data Table) y RSDT (RS Data Table), tablas que comparten el número de filas que es variable y puede estar entre 256, 512, 768 o 1024. La información útil de la trama transportada en paquetes IP/UDP (Internet Protocol / User Datagram Protocol) se ubica en la primera tabla. Mediante la relación entre las dos tablas se pueden configurar diversas tasas de código MPE-FEC, existiendo múltiples opciones de configuración, entre las que se puede escoger la modulación, la redundancia a utilizar y el tamaño de las tramas. Cada paquete IP es colocado verticalmente después del anterior, teniendo en cuenta el número de filas de la trama. Posteriormente la tabla ADT se llena con columnas de relleno (*padding*), esto si el código MPE-FEC requiere un número máximo de columnas IP o si ya no hay más paquetes IP a encapsular. El primer código FEC se calcula a partir de la tabla ADT y corresponde a los primeros bytes de cada una de las columnas de la tabla

[2] Servicio fundamental en sistemas que basan su operabilidad en movilidad. Este provee QoS en el proceso de migración de una determinada celda a otra, con el fin de evitar la degradación de la señal. Es invisible al usuario.

RS, mientras que el segundo código se calcula a partir de la segunda fila de la ADT y corresponde a los segundos bytes, y así sucesivamente. Los primeros bytes de cada una de las columnas de la tabla RS son utilizados para calcular el primer código FEC de la tabla ADT, mientras que los segundos bytes de la tabla RS calculan el segundo código de la tabla ADT, y así sucesivamente para el resto. Posteriormente cada datagrama IP de la tabla ADT se encapsula en una sección y cada columna de la tabla RS se encapsula en otra sección, todo esto mediante el encapsulador IP. [17] [22]

### 2.2.4 Relación Señal a Ruido

Se estima que para la recepción de video en teléfonos celulares se requiere de una Tasa de Error de Bit (BER, Bit Error Rate) de $10^{-9}$. La relación señal a ruido requerida ((C/N)min) depende de la modulación utilizada y del *code rate* del código convolucional al realizar la modulación. Para DVB-H varía entre 8.5, 14.5 y 17.5 dB dependiendo de la configuración. [22]

### 2.2.5 Datacasting IP sobre DVB-H

IP Datacast (IPDC) es un sistema de radiodifusión extremo a extremo, usado para la distribución de cualquier tipo de contenido o servicios digitales usando como base el protocolo IP y la optimización de dispositivos con recursos computacionales y consumo de energía limitados. El sistema IPDC esta diseñado para transportar dos tipos diferentes de contenidos que son la distribución s*treaming* y distribución de archivos. La distribución *streaming* es usada para ofrecer servicios móviles y de radio, mientras que la distribución de archivos es usada para transportar por ejemplo la ESG (Electronic Service Guide) y para descargar contenido visual y aplicaciones Software. La implementación del protocolo IPDC sobre DVB-H hace posible la transmisión de todo tipo de contenido digital existente para IP sin modificaciones tales como *streams* de video, paginas web, archivos de música o software de juegos, los cuales acceden al usuario mediante el terminal móvil. Es así como el usuario disfruta de servicios *broadcast* y multimedia todo en uno, ya que este protocolo genera la convergencia entre el mundo de la radiodifusión y las telecomunicaciones. El IPDC es unidireccional sobre DVB-H, pero puede convertirse en bidireccional gracias a la plataforma celular, que en muchos casos esta integrada en el mismo dispositivo. [23]

La figura 7 muestra el sistema de transmisión y recepción del estándar DVB-H, el subsistema de codificación de fuentes, la multiplexación y además se pueden apreciar los elementos técnicos añadidos en la capa de enlace, así como el empaquetamiento de la señal por parte del protocolo IP.

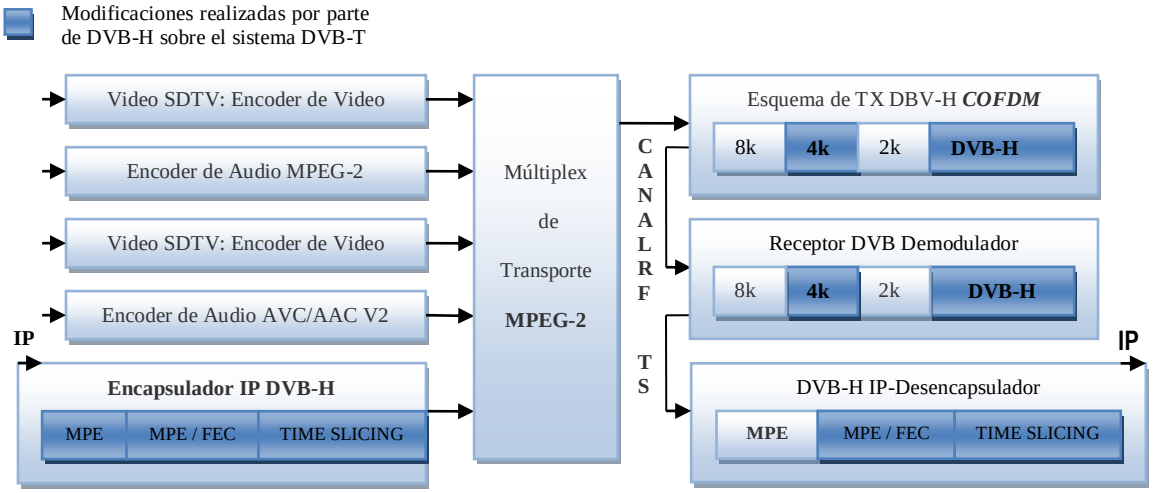



**Figura 7. Sistema de Transmisión y Recepción DVB-H [20] [22]**

### 2.2.6 Uso del Espectro y Ancho de Banda

Para evitar que las frecuencias del espectro radioeléctrico utilizado por DVB-H interfieran con redes celulares existentes y con posibles aplicaciones de 3G, se han planeado tres posibles bandas para la operación del sistema de TVDM en celulares, que son la banda IV y V de UHF y la banda L del espectro radioeléctrico. Con respecto al ancho de banda utilizado por el sistema DVB-H puede ser de 5 MHz, 6 MHz, 7 MHz y 8 MHz según las especificaciones de cada país. Para Colombia el espectro asignado para transmisiones de televisión analógica es el de 6MHz, el mismo ancho de banda que seguramente será aginado para la difusión de TVDM en telefonía celular. [22]

### 2.2.7 Redes de Frecuencia Única

Una red DVB-H posee una estructura básica *radiodifusor*, pero con ciertas modificaciones como puede ser difusión a través de radio bases y satelital simultáneamente. Adicionalmente, la estructura de una red DVB-H debe estar asociada a una red celular como complemento para poder ofrecer servicios interactivos. DVB-H puede trabajar mediante el uso de redes MFN, redes SFN ó la combinación de ambas, ya que el sistema DVB-H es totalmente compatible con la operación de redes SFN y puede usar exactamente los mismos métodos para sincronización del modulador y el transmisor como la red DVB-T y para soportar señalización TPS relacionada con el entrelazado y la señalización DVB-H. [22]

### 2.2.8 Redes Jerárquicas

El sistema DVB-H puede operar en diseños con redes jerárquicas o no jerárquicas. Sin embargo, este sistema ofrece un gran soporte de calidad de servicio (QoS, Quality of Service) y transmisiones multiformato si la red es jerárquica, es decir, redes donde sistemas como DVB-T y DVB-H comparten el mismo canal RF entre dos multiplexores independientes con modulaciones 16QAM ó 64QAM. [22]

### 2.2.9 Cobertura

Los parámetros de cobertura en redes DVB-H se dividen en tres aspectos. Por un lado se encuentra la recepción local, donde el área de recepción posee unas dimensiones de 0.5mx0.5m, es decir, 0.5 m en cada dirección de emisión por parte de la antena transmisora. En este caso, donde la recepción la hace una antena de un terminal móvil, se asume que las condiciones de recepción son de un usuario en movimiento. Por otro lado está la cobertura de área pequeña, que se encuentra en un rango de aproximadamente 100m x 100m. Aquí la cobertura se clasifica como buena si es por lo menos del 95% de los bordes ó límites de la zona que también se encuentran cubiertos, y aceptable si por lo menos el 70% de los límites de la zona se encuentran cubiertos. Finalmente, el área de cobertura total es aquel formado por el grupo de trasmisores de área pequeña que unidos forman dicha área. [22]

### 2.2.10 Middleware

El Middleware utilizado por los sistemas DVB es la plataforma de interactividad MHP (Multimedia Home Platform), una iniciativa de estandarización que especifica las aplicaciones interactivas de video y TVD, permitiendo una elevada portabilidad e interoperabilidad entre decodificadores y plataformas. Fue lanzada por el proyecto DVB, que además de ejecutar todas las aplicaciones multimedia produce una convergencia entre todas estas aplicaciones y los sistemas de TVD. Los principios de funcionamiento de MPH se basan en la definición de perfiles (*Profiles*) que marcan la evolución de la plataforma, incorporando de manera incremental mayores preacciones junto a una arquitectura y unos procesos flexibles que facilitan la portabilidad e interoperabilidad de aplicaciones que están sometidas a un ciclo de vida muy definido [24] [25].

La arquitectura de MPH se describe a continuación:

- **Difusión Enriquecida - *Enhanced Broadcasting* (Perfil definido en MHP 1.0):** Esta área combina la trasmisión digital de las fuentes de audio y video con las aplicaciones que pueden ser descargadas para ser ejecutadas en el decodificador, ofreciendo interactividad local. Estas plataformas no poseen canal de retorno y su única interactividad se desarrolla en el decodificador del terminal móvil. [24] [25]
- **Difusión interactiva - *Interactive Broadcasting* (Perfil definido en MHP 1.1):** Esta área proporciona interactividad completa por medio de un canal de retorno, ofreciendo una difusión enriquecida de servicios de audio y video que pueden o no estar asociados con los servicios ofrecidos por el operador. [24] [25]
- **Acceso a Internet - *Internet Access* (Perfil definido en MHP 1.2):** Extiende la difusión interactiva proporcionando contenidos y servicios de Internet, incluyendo el elemento HTML (Hyper Text Markup Language) empleado para gestionar el acceso a Internet. Esta adaptación se le conoce como DVB-HTML. [24] [25]

Con el fin de lograr los objetivos de interoperabilidad y de compatibilidad con versiones o perfiles anteriores, la plataforma se organiza siguiendo una arquitectura en capas. La capa inferior es la Capa de Recursos del decodificador. Sobre ésta se sitúa la Capa de *Software* del Sistema, que aísla las aplicaciones de los recursos existentes en el decodificador. Esta capa posee las bibliotecas Java, conformando la API utilizada por los desarrolladores de aplicaciones interactivas conocida como JVM (*Java Virtual Machine*). La norma MHP define dos tipos de aplicaciones que son las DVB-HTML y las DVB-J. La primera se refiere a conjuntos de documentos escritos en un lenguaje de marcado que usa tecnologías de Internet (XHTML, ECMAScript, DOM, cookies, etc.) con ligeras modificaciones para adaptarlas al mundo de la televisión. La segunda, comúnmente llamadas Xlets, son programas Java con algunas restricciones sobre las librerías que pueden usar y también sobre el ciclo de vida que deben implementar. [24] [25]

### 2.2.11 Parámetros de Configuración

En la tabla 4 se pueden ver los parámetros utilizados en la configuración de la capa física y de enlace para trasmisiones DVB-H dirigidas a teléfonos celulares.

**Tabla 4. Parámetros de Configuración y características de DVB-H para Dispositivos Móviles [17] [20] [22]**

| PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTANDAR DVB-H | |
|---|---|
| Origen, Año de ratificación y Estandarización | Grupo DTV-DVB, Europa 2004 - ETSI |
| Video | MPEG-4 P-10 H.2.64 norma ISO/ IEC 14496-10 |
| | Máxima resolución de 352 x 288 Píxeles |
| | Tasa de bits máxima: 384 Kbps |
| Audio | MPEG-4 P- 3 AAC-LC Profile norma ISO/IEC 14496-3 |
| | Tasa bits máxima 80 Kbps |
| Esquema de Trasmisión | **COFDM** |
| Modulación | QPSK, 16 QAM |
| Modo de Transmisión | 2K, 4K y 8 K |
| Tasas de codificación | RS (255, 191) (externo), Convolucional (1/2, 2/3) (interno), MPE FEC, *Time Interleaver* |
| Ahorro de Batería | *Time Slicing* |
| Ancho de banda del canal | 5, 6, 7 y 8 MHz |
| Banda de Trabajo | Bandas IV y V de UHF (470-850 MHz) y Banda L |
| Intervalo de guarda | 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 |
| Tasa máxima total de datos | 23.7 Mbps (Teórico), 15 Mbps (Real) |
| Lenguaje de interactividad MHP (Con mayor desempeño en receptores fijos) | |
| Ofrece 30 canales TVDM - SDTV en 6 MHz, a velocidades de hasta 120 Km/h si el dispositivo celular esta en un vehículo | |

### 2.2.12 Estándar DVB-SH

DVB-SH (Digital Video Broadcasting – Satellite Services for Handheld Devices), es una evolución técnica del estándar DVB-H, que surgió con el objetivo de brindar un transporte eficiente y flexible a través de radio frecuencia a todo tipo de terminales móviles que poseen antenas pequeñas. DVB-SH surge a partir de la unión de los componentes técnicos de la norma DVB-S2 y DVB-H, formando una red hibrida (satelital-terrestre) y complementaria que permite aumentar la capacidad del sistema. Sus frecuencias de operación están en la banda L y S. Los dos componentes de esta red son la red satelital y la red terrestre. La primera esta conformada por satélites geoestacionarios y se conoce como la Componente Satelital (SC, Satellite Component), mientras que la red terrestre es conocida como la Componente Complementaria de Tierra (CGC, Complementary Ground Component). Al contar con los beneficios de la red satelital la cobertura del sistema se incrementa (por ejemplo, un solo satélite con esta tecnología puede abarcar hasta 600.000 $Km^2$), y como complemento, la red terrestre precisa la cobertura en zonas oscuras, *indoor* ó en aquellas zonas donde la señal satelital se degrada. [26]

Otro aspecto importante a resaltar de esta solución híbrida es su esquema de transmisión, ya que la componente terrestre utiliza OFDM, mientras que la satelital puede escoger (dependiendo de los parámetros de la red) entre OFDM o Multiplexación por División de Tiempo (TDM, Time Division Multiplexing), permitiendo diferentes configuraciones como la aplicación de SFN para la red terrestre o la alta potencia del transmisor para el satélite a causa de TDM, lo cual significa mayor cobertura. [26]

#### 2.2.12.1 Características del sistema

La operación conjunta entre las redes DVB-H y DVB-SH presenta ventajas de operación respaldadas con mecanismos que brindan altos niveles de *seamless handover*, común entre la cobertura SC y CGC, soporta todas las condiciones de recepción desde *indoor/outdoor*, urbano, suburbano y rural, en condiciones estáticas y en movilidad para peatones o en escenarios vehiculares, soporta implementaciones para el ahorro de energía en la batería con el fin de mejorar su desempeño, soporta inserción de contenido local por medio del CGC, usa diferentes distribuciones de redes con sus repetidores CGC como satélite y/o terrestre (fibra óptica, redes inalámbricas, xDSL). [26]

#### 2.2.12.2 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión del estándar DVB-SH, al ser una solución híbrida provee una arquitectura doble, donde se puede escoger la que más se ajuste a las necesidades de una región. Este tipo de arquitecturas se describen a continuación:

- **Arquitectura SH-A**: Este tipo de arquitectura implementa el esquema de transmisión OFDM tanto para la red terrestre como para la satelital. Al ofrecer el esquema de transmisión OFDM, el sistema podría difundirse a través de SFN, pero debido a que esto implica que las dos señales poseen los mismos contenidos con igual frecuencia, se limita la capacidad de los sistemas para ajustar sus componentes independientemente. Es por esto que las MFN (Multiple Frequency Network) aunque por un lado disminuyen la eficiencia espectral, por otro permiten el ajuste de los parámetros de la red de forma independiente, optimizándola según sus requerimientos. La figura 17 del anexo C muestra la arquitectura SH-A para OFDM terrestre y satelital. [26]

- **Arquitectura SH-B**: Para esta arquitectura el esquema de transmisión utilizado por la red terrestre es OFDM, mientras que la red satelital utiliza TDM, tal como se muestra en la figura 18 del anexo C. El sistema implementa MFN ya que las frecuencias utilizadas deben ser independientes, y aunque la eficiencia espectral no es tan alta (en comparación con la anterior arquitectura), TDM ofrece un mayor rendimiento en condiciones de baja potencia. [26]

Independientemente de la arquitectura elegida, la red terrestre se emplea para ofrecer contenidos particularizados solicitados por los usuarios, además de acceder a zonas en las cuales el satélite no tiene acceso ó en regiones de solapamiento entre haces adyacentes de la red Satelital.

La componente satelital puede ofrecer sus servicios distribuyéndolos mediante un solo has hacia un grupo de países, ó mediante satélites con capacidad multihaz que se encuentran equipados con sistemas de alimentación y agrupaciones de antenas, generando diversos diagramas de radiación, brindando coberturas independientes con reutilización de frecuencias entre los haces y llegando a países cultural y lingüísticamente diferentes.

### 2.2.12.3 Subsistema de Transmisión

- **Esquema de Transmisión OFDM:** El esquema de transmisión del sistema DVB-SH hace un reuso de la modulación utilizada por DVB-H, adicionándole algunos elementos óptimos para su desempeño híbrido. Los nuevos parámetros son, la adición del modo 1K, señales TPS extendidas para brindar soporte de señalización en el sistema. La principal diferencia del uso de OFDM con respecto a DVB-H es la utilización de una baja eficiencia espectral debida a la modulación QPSK con una tasa de codificación de 1/5, obligando al demodulador a operar con requerimientos altos de desempeño ya que el sistema debe cumplir con una baja C/N, evitando desvanecimientos de la señal. [26]

- **Esquema de Transmisión TDM:** La multiplexación por división de Tiempo TDM del sistema DVB-SH se deriva de la del sistema DVB-S2[3] con algunas adaptaciones necesarias, donde sus nuevos elementos son la considerable distancia entre las señales piloto, independiente de la tasa de codificación elegida. Además se ha adicionado un campo de señalización con todos los parámetros FEC e *Interleaving*. TDM utilizado para la arquitectura SH-B, reduce la eficiencia espectral de la red con respecto a SH-A SFN, sin embargo, la transmisión satelital con este esquema permite mayores potencias de transmisión alcanzando un mayor rendimiento en el satélite, debido a que las señales portadoras, como por ejemplo OFDM, poseen una elevada potencia pico, impidiendo que los amplificadores de alta potencia trabajen cerca del punto de saturación ó potencia de transmisión máxima (evitando distorsiones lineales). TDM también permite que los amplificadores puedan trabajar más cerca del punto de saturación, logrando coberturas significativas, además permite optimizar la configuración de las componentes terrestres en diferentes partes de la región donde se preste el servicio. [26]

Estos esquemas de transmisión permiten flexibilidad a los proveedores de red para elegir, en función de su banda de transmisión (por debajo de los 30GHz). Ofrece varios anchos de banda entre 8 MHz, 7 MHz, 6 MHz, 5 MHz, y 1.7 MHz, con los modos de transmisión 8K, 4K, 2K Y 1K, este último brinda soporte a la señal satelital a altas velocidades con pequeños y/o altos anchos de banda. Como resultado de esta flexible configuración y una adecuada planeación se pueden asignar frecuencias dedicadas de contenido local. El canal de 1.7 MHz es apto para frecuencia en la banda L. la recepción *seamless* de una señal satelital y terrestre usa diversidad, aun si está en una red de frecuencia única (SFN, solamente en SH-A). [26] [27]

### 2.2.12.4 Capa física

La capa física del estándar DVB-SH utiliza la mayor parte de elementos utilizados en la capa física de los estándares DVB. Las principales modificaciones que DVB-SH ha hecho sobre esta capa radican en el sistema de encapsulamiento y decodificación con el código Turbo y el Time Interleaver. Además, con respecto al esquema de transmisión OFDM incluye señales TS y señales FFT, y con la modulación TDM incluye señales piloto y filtros roll-off. La encapsulación y decodificación de la de señal se efectúa por parte del código Turbo y el Time Interleaver. [26] 27]

[3] Perteneciente al grupo DVB y evolución técnica del sistema DVB-S.

La codificación Turbo fue estandarizada por 3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2), hace parte del módulo de codificación y encapsulamiento FEC, implementado principalmente en el receptor y configurado según las combinaciones OFDM/OFDM u OFDM/TDM. Sus parámetros de salida son 1146BITS en el campo de señalización y 12282 bits de carga útil, se compone de codificadores convolucionales RSC (Recursive Systematic Convolutional) que producen los bits RSC X, RSC X' y el 3GPP2 Interleaver (Intra Codeword Interleaver) el cual brinda ganancias mayores a 3 dB con una tasa de codificación de 1/3. Este código ofrece alta eficiencia en el consumo de energía de los terminales, brindando alta flexibilidad al Time Slicing e incrementando la robustez de la transmisión. Adicionalmente presenta alta sensibilidad, brindando una tasa de código baja muy adecuada para el Time Interleaver y como protección de la capa física. [26] [27]

Por su parte, el Time Interleaver se clasifica en dos tipos. Por un lado esta el Time Interleaver corto (aproximadamente de 300ms), que brinda una protección adicional a la capa física especialmente con desvanecimiento de canal en enlaces satelitales. Su recepción se hace por medio del terminal clase 1[4]. El Time Interleaver de larga duración (aproximadamente de 10–15 segundos) es un mecanismo que ayuda a contrarrestar los efectos del desvanecimiento de larga duración, característicos de las transmisiones satelitales, trabajo que realiza en conjunto con los codificadores y el sistema de modulación. La flexibilidad del Time Interleaver de larga duración ofrece diversidad de tiempo de alrededor de cientos de milisegundos, dependiendo del nivel de orientación del servicio y las capacidades correspondientes al terminal, ya que son necesarios dos nuevos tipos de receptores. En combinación con las tasas de código los receptores obtienen alta sensibilidad para acceder a las señales. Su recepción se hace por medio de terminal clase 2[5] adaptado con mayor memoria (256 o 512 Mb) con modulación QPSK y 16 QAM. Un Interleaver mas largo protege la información ante desvanecimientos de alta duración. [26] [27]

#### 2.2.12.5 Capa de enlace

Uno de los factores que ha determinado el éxito de DVB-H es la interoperabilidad, funcionamiento y equipamiento de su capa de enlace. Por esta razón, las modificaciones que DVB-SH ha hecho sobre esta capa son pocas pero tienen como objetivo la interoperabilidad satelital con DVB-H, para además de ofrecer los servicios satelitales beneficiarse totalmente del sistema terrestre. [26]

La adaptación de la capa de enlace de DVB-SH comprende la distribución de sus contenidos a través del protocolo IPDC (incluido el video stream), encapsulado por medio del DVB-SH IP MPE. Otras de sus mejoras son la inserción de señales PSI/SI (Program Specific Information/Service Information) y protección MPE IFEC (MPE Inverse Fast Fourier Transform), que se transportan por el TS MPEG-2 en el modulador DVB-SH, y la incorporación de mecanismos de Interleaver para soportar transmisión discontinua. [26]

El objetivo de las señales PSI/SI es transmitir los parámetros del sistema permitiendo transiciones suaves entre las redes DVB-SH y DVB-H, señales que son reconocidas por los receptores especialmente para el uso del *handover*. El MPE IFEC es una extensión del MPE FEC que no ocasiona ninguna interferencia con el sistema DVB-H. Es usado para ofrecer una protección extra en contra de los desvanecimientos de larga duración de las ráfagas provenientes del satélite y además permite que el Interleaver sea mas largo ahorrando más energía en el terminal. También da soporte al MPE Time Slicing, asegurando el ahorro de batería y el *handover* en la cobertura brindada por las frecuencias en las celdas. [26]

[4] Receptor que trabaja con un número de unidades entrelazadoras superiores a 6528 cada 126 bits, que equivalen a 1/2 de la capacidad de la trama.

[5] Receptores que trabajan con unidades Interleaver superiores a 417792, donde 126 bits son equivalentes a 32 tramas SH, ráfagas cortas, largas y largas – retrasadas son posibles de recibir con este terminal.

Adicionalmente, DVB-SH añade en el mecanismo de codificación el código *Raptor* que al igual que el código RS se implementan computacionalmente mediante software. *Raptor* codifica varios bloques de información al mismo tiempo (a mayor numero de bloque mayor codificación), que generan infinita información de paridad y altos niveles de protección a las señales, todo esto gracias al retardo en la recepción, lo cual incrementa el *zapping*[6]. [26]

#### 2.2.12.6 Espectro de frecuencias de operación

Debido a que es un sistema híbrido (satélite y terrestre), la planeación de frecuencias es un poco más compleja que para un sistema terrestre o satelital independiente. La gran extensión geográfica que cubre un sistema satelital es muy útil, pero a su vez hace que el sistema requiera la segmentación del espectro de bajada obteniendo una óptima reutilización de las frecuencias. La tabla 5 muestra la distribución de frecuencias utilizada por el sistema híbrido DVB-SH con un ancho de banda ya sea de 1.7, 5, 6, 7 u 8 MHz. [26]

**Tabla 5. Frecuencias de Operación del Sistema DVB-SH [17] [26]**

| Designación de Bandas de frecuencia | Rangos de frecuencia | Otros nombres comunes |
|---|---|---|
| Banda L | 1626,5 – 1660,5 MHz, 1668 – 1675 MHz (Uplink)<br>1518 – 1559 MHz (Downlink) | MSS GEO (Banda L) |
| | 1610 – 1626,5 MHz (Up and Downlink) | MSS Big LEO (Banda L) |
| | 1452 – 1492 MHz (Downlink) | Banda S |
| 2 GHz Banda S | 1980 – 2010 MHz (Uplink)<br>2170 – 2200 MHz (Downlink) | --- |
| S–DARS Banda S | 2320 – 2345 MHz (Downlink) | --- |
| 2.5 GHz Banda S | 2670 – 2690 MHz (Uplink)<br>2500 – 2520 MHz (Downlink) | --- |
| | 2520 – 2670 MHz (Downlink) | --- |

#### 2.2.12.7 Dispositivos móviles DVB-SH

La existencia de dos arquitecturas implica la presencia de dos categorías de terminales disponibles, uno para cada arquitectura. Mientras que los terminales de tipo SH-B son compatibles con una arquitectura SH-A, pudiendo funcionar tanto en una red SFN como MFN, los terminales de tipo SH-A no pueden funcionar en arquitecturas SH-B, a menos que dispongan de receptores TDM. Estos terminales pueden recibir de 9 a 18 canales dependiendo de la configuración de la red. [26]

#### 2.2.12.8 Uso del *handover*

El uso del *handover* en redes DVB-SH es principalmente el mismo que se usa para redes DVB-H, donde las señales TPS y PSI/SI, ubicadas en la capa física, son usadas para señalización. El *Time Slicing* es utilizado para el escaneo de celdas adyacentes, aun con largos *Interleavers* en la capa física. DVB-SH añade el elemento de celda *Umbrella* por parte de los satélites, además el uso de la banda S, que en conjunto abarcan una mayor cobertura (celdas más grandes) con potencias mas altas, facilitando la labor del *handover*. [26]

[6] Acción de cambio de canal o cambio de programación realizada por el usuario. La medida del nivel alto de *zapping* optimiza el rendimiento y la calificación de un sistema de TVD.

### 2.2.12.9 Parámetros de configuración

Los datos consignados en la tabla 6 corresponden a los parámetros de configuración utilizados por el sistema hibrido DVB-SH.

**Tabla 6. Parámetros de Configuración y características de DVB-SH para Dispositivos Móviles [17] [26] [27]**

| PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTANDAR DVB-SH | |
|---|---|
| Modulación | Para OFDM: QPSK y 16 QAM<br>TDM: QPSK, 8PSK y 16 APSK<br>Modos 1K, 2K, 4K y 8K |
| Tasas de codificación | (255, 191) RS (externo), (1/2, 2/3) Convolucional<br>MPE FEC, Turbo 3GPP2, Time Interleaver |
| Banda de Trabajo | Banda L, S, 2.2GHz MSS |
| Factores roll-off para TDM | 0,15, 0,25, 0,35 |
| Video | 4 P-10 H.2.64 norma ISO/ IEC 14496-10 |
| | Máxima resolución de 352 x 288 Píxeles |
| | Tasa de bits máxima: 384 Kbps |
| Audio | MPEG-4 P- 3 AAC-LC Profile norma ISO/IEC 14496-3 |
| | Tasa bits máxima 80 Kbps |
| Ancho de Banda del Canal | 5MHz, 6MHz, 7MHz, 8MHz y 1.7MHz |
| Resolución SDTV a velocidades de 400Km/H, Consumo de batería < 100mW | |
| Lenguaje de interactividad MHP | |
| Ofrece 9 ch satelitales, 9+18 ch con repetidores de señal SDTV | |

## 2.3 ESTÁNDAR ISDB-T 1-Seg

ISDB–T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) es el estándar de TVD establecido por Japón, desarrollado por la ARIB (Association of Radio Industries and Businesses of Japón) y promovido desde 1997 en todo el mundo por el grupo DiBEG (Digital Broadcasting Experts Group). El estándar ISDB es un concepto de transmisión digital emergente, y abarca media docena de documentos que especifican la distribución de video digital por satélite (ISDB-S), cable (ISDB-C) y terrestre (ISDB-T). Este último incluye transmisión a terminales móviles dando flexibilidad, capacidad de expansión y difusión de los servicios de transmisión multimedia. [28]

El esquema de transmisión utilizado por el estándar ISDB-T es el BST-OFDM (Banda Segmentada de Transmisión-OFDM), que divide la banda de frecuencia de un canal en trece segmentos, ofreciendo flexibilidad al servicio. Estos trece segmentos se pueden configurar para brindar el servicio de TVDM y el de televisión digital fija ó netamente para TVDM, tal como sea la configuración, al servicio ofrecido por ISDB-T orientado a dispositivos móviles se le llama ISDB-T 1-Segmento. Es así como se puede configurar en el centro del bloque de los trece segmentos, uno orientado exclusivamente para radiodifundir servicios a terminales móviles mientras que los restantes son para televisión digital fija, ó se pueden configurar los trece para brindar servicios móviles. Las características técnicas del 1-Segmento de ISDB-T se describirán en el presente Capítulo. [28]

Actualmente, cadenas de televisión de países como Francia, Alemania, Italia, Reino Unido, Rusia, Canadá, Estados Unidos, Brasil y Japón han adoptado la técnica de 1-Segmento para llevar sus contenidos a terminales móviles. De los países mencionados anteriormente, fuera de Japón lugar donde nació la norma, se destaca Brasil, pues su gobierno adopto ISDB-T como norma única para la distribución de televisión digital tanto fija como móvil, realizándole modificaciones para adaptarlo al entorno del país. En Brasil ISDB-T con las modificaciones respectivas recibe el nombre de SBTVD-T (Sistema Brasilero de Televisión Digital Terrestre). Las diferencias entre las dos normas radican principalmente en que el brasilero utiliza H264/AVC en lugar de codificación MPEG-2 en todas las transmisiones y capas, además de la utilización del *Middleware* Ginga, desarrollado por Brasil. [17]

### 2.3.1 Características del Sistema

ISDB-T presenta una clara semejanza con el estándar DVB-T, sin embargo sus diferencias ante otros estándares radican principalmente en el sistema de modulación. La figura 8 muestra el diagrama del sistema ISDB-T adaptado para transmisiones móviles.

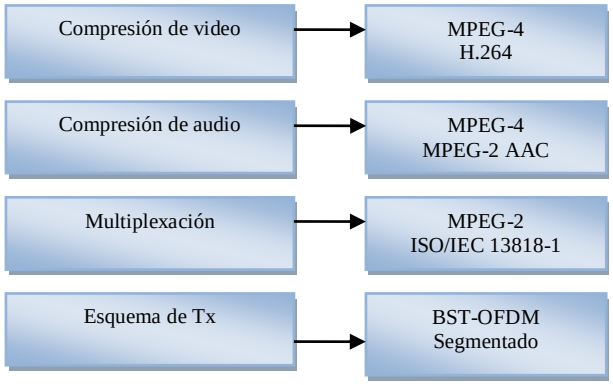



**Figura 8. Descripción General del Sistema ISDB-T para Teléfonos Celulares [29]**

La transmisión de contenidos a dispositivos móviles comienza con la compresión y codificación de las señales de video por parte del estándar MPEG-4 V.1 Simple Profile, con una máxima resolución de 320 x 240 pixeles y una máxima tasa de bits entre180 Kbps y 256 Kbps. Por su parte, el audio se comprime y codifica mediante la norma MPEG-4 P- 3 AAC-LC norma ISO/IEC 14496-3, con una tasa de bits máxima entre 32Kbps y 64 Kbps. El sistema de multiplexación es igual para todos los 13 segmentos de ISDB-T, que se realiza por medio del estándar MPEG-2 TS norma ISO/IEC 13818-1. [30]

El esquema de transmisión de ISDB-T es el BST-OFDM de forma segmentada, que ofrece variadas técnicas de modulación primaria y de corrección de errores. El estándar ISDB-T tiene como origen Japón, lugar donde se encuentra establecida legal y técnicamente la banda de 6MHz para la distribución de televisión digital, razón por la cual el desarrollo técnico de todo el sistema gira alrededor de este parámetro. Actualmente el estándar ha evolucionado técnicamente para operar en canales diferentes como 7 MHz u 8 MHz (actualmente en pruebas). Los parámetros tomados en cuenta para este Capítulo son para el canal de 6MHZ [30]

### 2.3.2 Subsistema de Modulación

- **Esquema de Transmisión BST-OFDM en forma segmentada:** El esquema de transmisión BST-OFDM consiste en dividir la banda de 5.57 MHz útil (6 MHz teórico) del canal de televisión en 13 segmentos de 428,57 KHz cada uno de ellos. Un cierto número de estos segmentos OFDM pueden ser combinados en grupos para formar hasta tres niveles jerárquicos, donde cada uno de estos se puede configurar para diferentes grados de robustez de acuerdo a las necesidades del servicio, lo que permite la transmisión en el mismo canal de hasta 3 programas diferentes. La forma y el orden en que las fuentes de video, audio y datos se codifican en frecuencia en este estándar es una de las grandes diferencias con respecto al estándar europeo DVB-T. la banda segmentada *(Segmented Band)* es un esquema que consiste en dividir la banda de transmisión TS en segmentos y asignarlos a servicios distintos (dependiendo del tipo de transmisión elegida). Este flujo de transporte es remultiplexado y agrupado en segmentos de datos. Luego cada uno de estos segmentos es trasformado en segmentos OFDM, utilizando uno o más segmentos para cada capa, con la posibilidad de transmitir hasta tres paquetes de datos simultáneamente con modulaciones diferentes. En total, el espectro de transmisión se compone de trece segmentos, siendo esta cantidad la misma para un canal de 6, 7 u 8 MHz de ancho de banda, donde la variación para cada espectro se da en el tiempo de duración de cada segmento. [29] [31]

La figura 9 muestra el sistema de transmisión para este estándar, donde se destaca la modulación segmentada propia de ISDB-T con el segmento central adecuado para la prestación de servicios móviles.

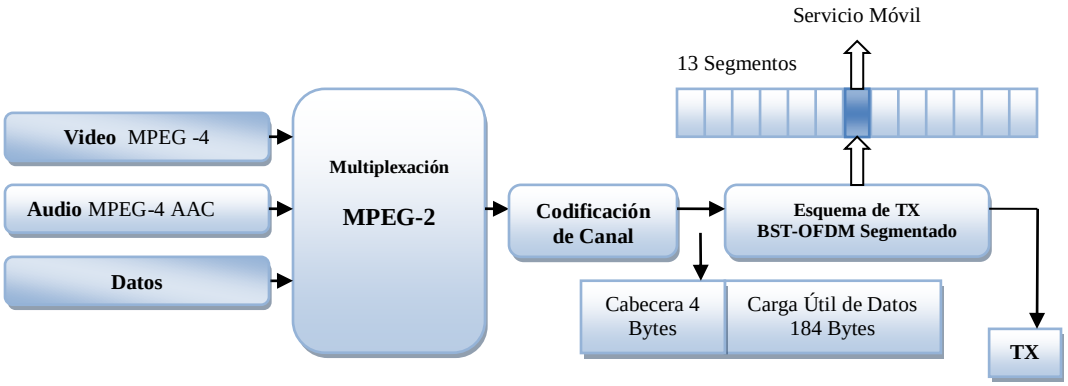



**Figura 9. Sistema de Transmisión y Modulación Segmentada con Segmento Central para Móviles [28]**

En la figura 10 se puede ver la estructura de modulación BST-OFDM para el sistema ISDB-T y el SBTVD-T.

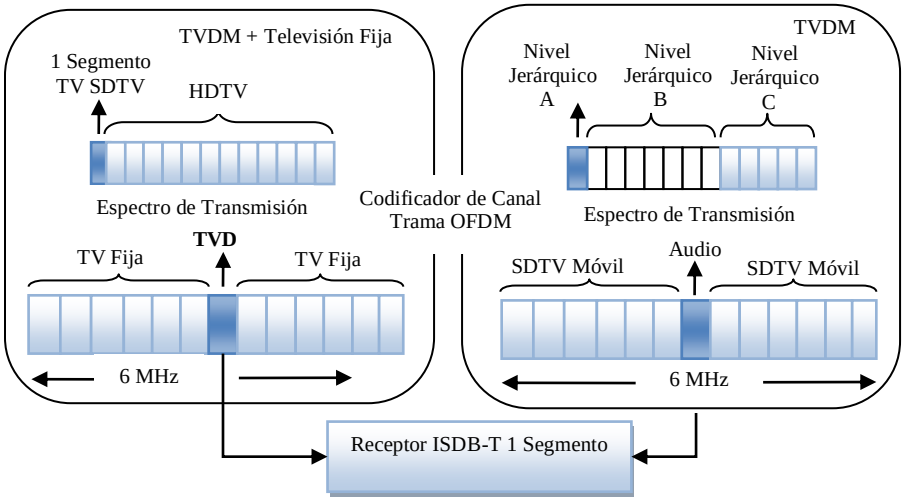



**Figura 10. Estructura de Modulación BST-OFDM para el sistema ISDB-T y SBTVD-T [28]**

El segmento localizado en el centro de la banda es el segmento "0" ó 1-Segmento. Los segmentos se enumeran desde el centro hacia los extremos, donde los segmentos del lado derecho son los de numero par y los segmentos de lado izquierdo son los impares, distribución que se puede apreciar en la figura 11.

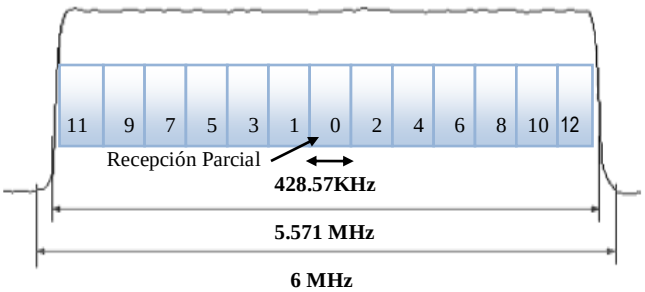



**Figura 11. Espectro del canal RF segmentado con Segmento Central para Dispositivos Móviles [28]**

La recepción parcial de los segmentos puede ser usada para recepción portátil con una frecuencia Interleaver sin que ello afecte la otra parte del espectro de radiodifusión, ya que este tipo de transmisión siempre ocupa solo un segmento. En la recepción, cada receptor selecciona la capa que corresponde a su propia función. Para este propósito, el transmisor manda junto al contenido de los datos algunas frecuencias piloto que llevan consigo información que le permite al receptor la autoconfiguración del modo del programa trasmitido. Estas señales piloto son las señales TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration Control), AC (Auxiliary Channel), SP (Scattering Pilot) y CP (Continuous Pilot). [17] [28]

### 2.3.3 Transmisión Jerárquica

En el sistema ISDB-T cada uno de los 13 segmentos puede tener parámetros de transmisión diferentes (tasas de codificación, Time Interleaver) y es por esto que la transmisión jerárquica tiene como objetivo transmitir grupos de segmentos OFDM con diferentes parámetros de transmisión por canal. Un máximo de tres capas pueden ser difundidas en cada canal al mismo tiempo y una recepción parcial se considera una capa jerárquica. Las señales de video, audio y datos para la recepción móvil y fija se pueden combinar en el sistema de transmisión por medio de las capas jerárquicas. [28]

### 2.3.4 Recepción Parcial

Se trata de un caso especial de la transmisión jerárquica, en que la codificación de canal y entrelazado en frecuencia de una señal es completamente autocontenida dentro del segmento central de la banda de transmisión. Este segmento puede ser recibido y decodificado independientemente de los otros doce, proporcionando así una solución eficiente para la transmisión a terminales móviles. El receptor correspondiente es conocido como receptor de un segmento. [28]

### 2.3.5 Entrelazador de Tiempo (Time Interleaver)

Ofrece robustez contra interferencias de multitrayecto (dispersión del error causada por el efecto *multipath*) y canal adyacente de la señal analógica, además de disminuir el desvanecimiento por señales transitorias que provienen de motores de vehículos y líneas de energía eléctrica en ambientes urbanos. [28]

### 2.3.6 Middleware

- **Middleware BML – ISDBT:** El middleware utilizado por el estándar ISDB-T de Japón se fundamenta en el lenguaje BML (Broadcast Markup Language), que se basa en XHTML 1.0, orientado a la interacción con el usuario. En los dispositivos móviles las aplicaciones pueden realizarse por medio del NetFrontDTV donde su plataforma tiene un soporte HTML 4.0 y ECMASScript. De ser posible ampliar la información del Middleware de ISDB-T. [32]

- **Middleware Ginga - SBTVD-T:** La universidad Federal de Paraíba desarrolló el middleware Ginga para el sistema brasilero de Televisión Digital SBTVD-T, que flexibiliza el desarrollo de aplicaciones interactivas ofreciendo una plataforma declarativa, basada en NCL (Ginga NCL), y de procedimiento, basada en JAVA (Ginga J), ambas para sistemas libres ó gratuitos. La arquitectura del sistema se divide en tres módulos que son el Core, el Ginga NCL y el Ginga J. La arquitectura Ginga esta destinada a aplicarse a los sistemas de emisión y receptores principalmente terrestres (over-the-air). Sin embargo, la misma arquitectura puede aplicarse a otros sistemas de transporte (sistemas móviles, por satélite, televisión por cable, y sistemas IPTV). [32]

### 2.3.7 Parámetros de Configuración

Básicamente las técnicas de codificación de canal y modulación son similares para cada uno de los 13 segmentos del sistema ISDB-T. Las diferencias radican en las combinaciones de los diferentes paramentos. Para una información mas detallada de los mecanismos de codificación y modulación del estándar remitirse al anexo D.

Entre los parámetros generales soportados por el sistema para transmisión de TVDM, se encuentran los esquemas de modulación QPSK, DQPSK y 16QAM, con tasas de código convolucional como 1/2 y 2/3, intervalos de guarda de 1/4, 1/8 y 1/16 y codificación RS (204, 188). La combinación de estos parámetros, como se mencionó anteriormente, le ofrecen al sistema ISDB-T robustez ante interferencias de multitrayecto y desvanecimientos de frecuencia, ofreciendo diversas velocidades de transmisión útiles para variados servicios, tal como se puede observar en las tablas 6 y 7 del anexo D. Respecto a 1-Segmento, la combinación de parámetros esta condicionada al tipo de servicios ofrecidos, como programas de información (noticias, estado del tiempo, resultados bancarios -bolsa), deportes, contenidos Web (HTML), video + datos, entre otros. Todos estos servicios van dirigidos a usuarios en movimiento, peatonales o vehículos a muy altas velocidades. [17] [28] [33]

La tabla 7 muestra los principales parámetros de configuración del sistema ISDB-T 1-Seg, con un esquema de transmisión OFDM modo 4K y con un ancho de banda de 6MHz, con el objetivo de brindar el servicio de televisión digital a dispositivos móviles.

**Tabla 7. Parámetros de Configuración y Características de ISDB-T / 1-Segmento para Dispositivos Móviles [17] [28] [33]**

| PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTANDAR ISDB-T | |
|---|---|
| Origen Año de ratificación, y Estandarización | ARIB<br>Japón – 2005, Brasil (SBTVD-T) – 2007 - ITU |
| Video | MPEG-4 P-10 H.2.64 V1 Simple Profile |
| | Máxima resolución de 320 x 240 Píxeles |
| | Tasa de bits máxima: 180 – 256 Kbps |
| Audio | MPEG-4 P- 3 AAC-LC Profile norma ISO/IEC 14496-3 |
| | Tasa bits máxima 48-96 Kbps |
| Esquema de Trasmisión | **BST-OFDM** |
| Modulación | QPSK, DQPSK y 16QAM |
| Modo de Transmisión | 4K |
| Tasas de codificación | (204, 188) RS (externo)<br>(1/2, 2/3) Convolucional (interno), Time Interleaver |
| Intervalo de guarda | 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 (1/8 más recomendado para 1-seg) |
| Ancho de banda del canal | 6 ó 6 / 14 = 428.57 |
| Banda de Trabajo | UHF Banda IV y V (470-850MHz) y Banda L |
| Intervalo de guarda | 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 |
| Tasa máxima total de datos | 1.8 Mbps (Teórico), 1.4 Mbps (Real) |
| Lenguaje de interactividad BML y GINGA (Brasil) | |
| Ofrece hasta 13 canales de video TVDM con resolución SDTV, 30 canales de audio, a velocidades de hasta 120 Km/H cuando el dispositivo celular esta en un vehículo | |

La introducción al mercado del servicio de 1-Segmento significa un avance para la nueva era de la Televisión Digital Móvil, puesto que el desarrollo de la tecnología está encaminado a un servicio público y libre para ser utilizado y adoptado por los usuarios. Una de sus desventajas es que los modelos de negocios para el sistema no están completamente definidos.

## 2.4 ESTÁNDAR T-DMB

A finales del año 1997 la ETSI estableció el proyecto Eureka-147 DAB (Digital Audio Broadcasting) norma ETSI EN 300 401 como el estándar de difusión de radio digital, primer sustituto de la radio FM, ampliando las posibilidades de transmisión en un espectro saturado y mejorando la calidad y estabilidad de la señal, sobre todo en recepción móvil. [34]

El creciente aumento de los servicios de telecomunicaciones y los limitados recursos de ancho de banda aceleraron la evolución técnica de la radiodifusión digital, comenzando con la radio y siguiendo con el video y datos. Es así como a finales del año 2002 Eureka-147 evolucionó a DMB (Digital Multimedia Broadcasting), conformado por una serie de normas y estándares, entre las que se destacan la ETSI EN 300 744: "Digital Video Broadcasting (DVB)", ETSI TS 101 756: "Digital Audio Broadcasting (DAB)", ITU-T Recomendación H.264: Advanced Video Coding. [34]

Una de las grandes ventajas que presenta el Estándar DMB es que permite conservar buena parte de la inversión ya realizada en el despliegue de la red DAB, evitando economías de escala y ofreciendo altos desempeños en cuanto a movilidad, utilización de *codecs* de audio más modernos y mejores mecanismos de protección contra errores de transmisión de programas por múltiplex, reduciendo los costos de operación por programa. DMB posee dos derivaciones en cuanto a su operación, la transmisión terrestre T-DMB (Terrestrial - Digital Audio Broadcasting) y la transmisión vía satélite S-DMB (Satellite - Digital Audio Broadcasting), ambas de acuerdo a la tecnología y la configuración de la red. Corea ha sido el país que ha desarrollado e implementado este sistema, lanzado comercialmente en el 2005. Son muchos los servicios ofrecidos por T-DMB y la gran mayoría se basan en la plataforma DAB, la principal ventaja con que nació el estándar T-DMB, ya que al funcionar su sistema bajo DAB el audio utiliza la misma estructura proporcionando una alta calidad similar a la de CD, mientras que el video es codificado con el estándar MPEG-4 P10. El sistema de transporte se realiza con MPEG-2. [17]

Inicialmente DAB transmitía video por medio del encapsulamiento de datagramas IP pero con una tasa de error de bit (BER) $10^{-4}$, muy alta para recepción de video, así que una de las soluciones más importantes a este problema e incluida en T-DMB es la codificación RS (*Reed-Solomon)* y el *Byte Interleaver* que protege el TS MPEG-2 dentro del multiplex ofreciendo una tasa de $10^{-8}$, óptima para recepción móvil. [33]

### 2.4.1 Características del Sistema

Inicialmente el sistema DAB trasmitía exitosamente señales de radio digital a través de un canal de 1.5 MHz. A media que los requerimientos de servicios aumentaron, el principal objetivo del sistema fue el de brindar no solo audio sino video y datos en la misma señal. Es así como el sistema T-DMB mediante nuevas técnicas de codificación de fuentes y codificación del canal, con ayuda del tradicional DAB, se convirtió en una realidad. La figura 12 muestra las principales características del sistema T-DMB.

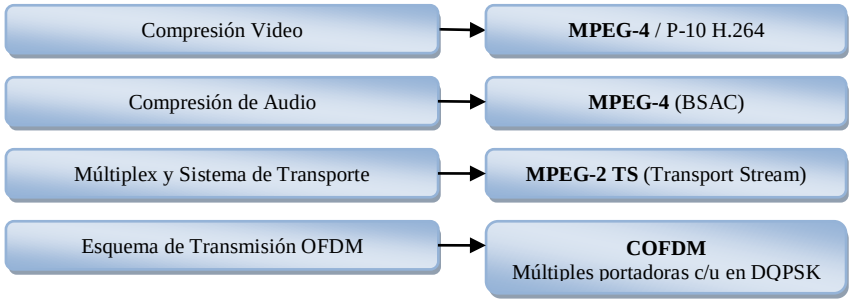



**Figura 12. Principales Característica del Sistema de T-DMB [35]**

El mecanismo de codificación de fuentes inicia con el video, codificado con MPEG-4 Parte 10 norma ISO/IEC 14496-10/ H.264. Se compone de dos partes, la VCL (Video Coding Layer) y la NAL (Netwok Abstraction Layer). Los estándares DMB especifican que los servicios de vídeo deben ser proporcionados para unas dimensiones máximas de *display* de 352x288. El audio codificado bajo la norma MPEG-4 BSAC (MPEG-4 Bit Sliced Arithmetic Coding) soporta radiodifusión de audio estéreo con una tasa de muestreo estandarizada. Para radiodifusión solo de audio ofrece calidad CD superior a radio FM. Posteriormente las señales inician su recorrido por el sistema de transporte siendo encapsuladas en la capa de sincronismo y finalmente son multiplexadas creando la trama MPEG-2 TS. Este *stream* es codificado mediante los códigos RS (Reed Solomon) y CI (Convolutional Interleaver). Posteriormente, esta trama es insertada dentro del canal en modo *stream,* que es uno de los principales canales de datos del sistema base DAB. La figura 13 muestra el sistema de transmisión seguido por la señal de televisión, iniciando con la compresión de las fuentes de video, multiplexación y su codificación para luego ser insertadas en el *stream* DAB para luego ser transmitidas en RF. [17] [29]

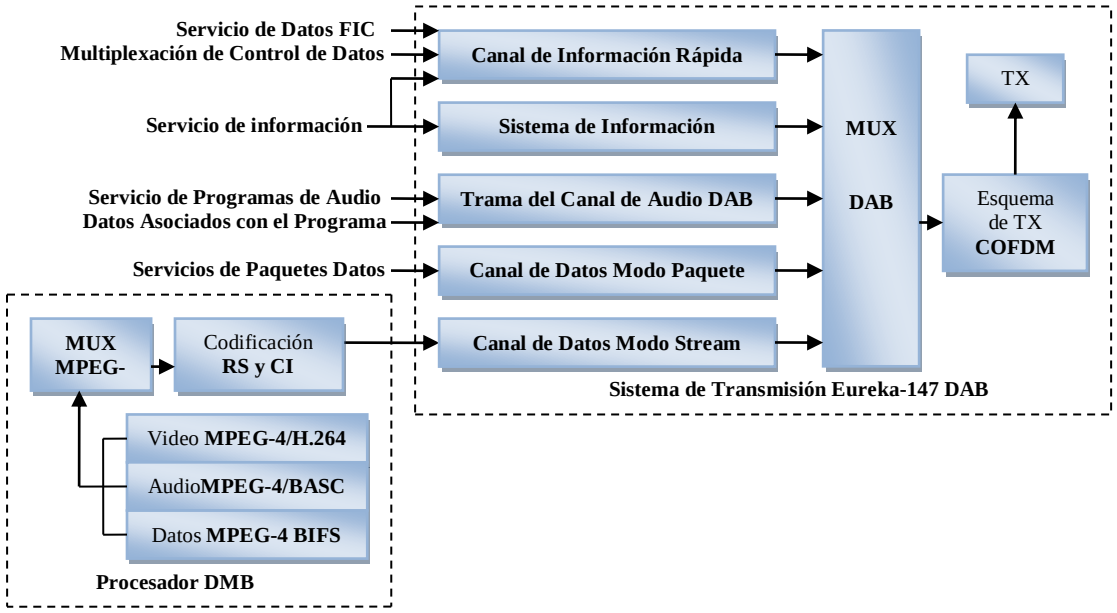



**Figura 13. Sistema de Transmisión T-DMB [61] [62]**

### 2.4.2 Esquema de Transmisión Jerárquica COFDM

El esquema de transmisión jerárquica COFDM utilizada por T-DMB provee una variedad de servicios al sistema. La importancia de los códigos de corrección de errores RS *(204, 188)* y CI radica en la reducción del BER por debajo de los $10^{-8}$ Kbps, necesarios para transmisión y recepción estable de imágenes en movimiento. Es por esto que T-DMB utiliza el esquema de codificación *outer coder*, que es la unión de estos dos códigos detectores de errores. La estructura del *outer coder* se puede observar en la figura 14. [36] [37]

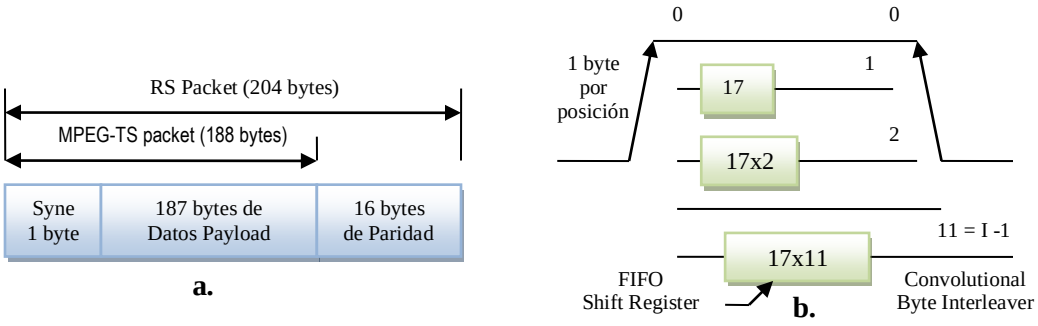



**Figura 14. Codificación Outer Coder. a. Código de Corrección de Errores RS, b. Código de Corrección de Errores Convolutional Interleaver [37]**

QPSK ó DQPSK son los tipos de modulación utilizados por el sistema, cualquiera de las dos dependiendo de las características del entorno. Usualmente QPSK es la más utilizada y su constelación es la que se muestra en la figura 15.

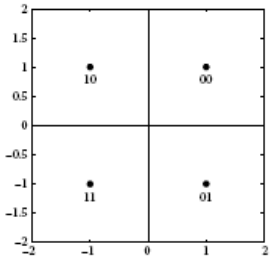



**Figura 15. Constelación QPSK [35]**

### 2.4.3 *Middleware*

El T-DMB MATE (Mobile Application Terminal Environment) es la plataforma *middleware* utilizada por los sistemas DMB, que define el contexto de ejecución de las aplicaciones y API, ya que son muchas las aplicaciones que pueden acceder al terminal móvil. La plataforma también define la estructura que se incorporará en el receptor. T-DMB soporta varios protocolos como IP para datagramas sobre Internet, el protocolo TDC para transporte de *streams* de datos transparentes de tiempo real y el protocolo MOT para el transporte específico de datos facilitando el transporte de objetos multimedia como imágenes JPEG. Estos protocolos ofrecen facilidades para el transporte de objetos multimedia como imágenes JPEG, texto en código ASCII y secuencias de video ó audio MPEG. [37]

### 2.4.4 Parámetros de Configuración

La tabla 8 muestra los principales parámetros de configuración del sistema T-DMB para brindar el servicio de Televisión Digital a dispositivos móviles.

**Tabla 8. Parámetros de Configuración y características del Sistema T-DMB [17] [35] [37]**

| PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTANDAR T-DMB | |
|---|---|
| Origen, Año de ratificación, y Estandarización | Corea 2005, ETSI |
| Video | MPEG-4 P-10 H.2.64 calidad QVGA |
| | Máxima resolución de 320 x 240 Píxeles |
| | Tasa de bits máxima: 180 – 256 Kbps |
| Audio | MPEG-2 Musicam (Radio) (basado en DAB)<br>MPEG-4 – BSAC, HE-AAC (Para Multimedia) |
| | Tasa bits máxima 48-96 Kbps |
| Esquema de Trasmisión | OFDM |
| Modulación | **QPSK**, DQPSK |
| Modo de Transmisión | 2K, 1K y 05K |
| Tasas de codificación | RS(204, 188), Convolucional (1/2, **2/3**), Time Interleaver, Frecuency Interleaver |
| Intervalo de guarda | **1/4, 1/8** |
| Ancho de banda del canal | 1.536 MHz |
| Banda de Trabajo | **VHF** (174-216MHz) y L (1.452-1.492MHz) |
| Intervalo de guarda | **1/4, 1/8, 1/16** y 1/32 |
| Tasa máxima total de datos | 1.8 Mbps (Teórico), 1.4 Mbps (Real) |
| Lenguaje de interactividad MATE | |
| Ofrece 5 canales de TVDM con resolución SDTV, 19 canales de radio y 3 canales de datos, a velocidad de hasta 120 Km/H cuando el dispositivo celular esta en un vehículo | |

### 2.4.5 Estándar S-DMB

El sistema S-DMB (Satellite – Digital Multimedia Broadcasting) fue desarrollado por Corea del Sur, impulsado por el sector privado y con la iniciativa estatal para su desarrollo a través del estándar T-DMB. Este sistema fue lanzado comercialmente en Mayo del 2005 y actualmente cuenta con más de 890.000 subscriptores.

Al igual que el sistema DVB-SH, S-DMB esta desarrollado para conformar una arquitectura hibrida en unión con el sistema terrestre. La señal proveniente del satélite geoestacionario y la red terrestre (con más de 10.000 repetidores terrestres) refuerzan la señal brindando cobertura en áreas urbanas y suburbanas. Los repetidores terrestres operan a la misma frecuencia de los satélites, los cuales amplifican la señal realizando penetraciones *inddor.* Los transmisores satelitales favorecen la señal ante desvanecimientos por multitrayectoria y ensanchamiento *Doopler,* ofreciéndole mayor robustez al sistema. [38]

El estándar S-DMB ofrece soluciones a ciertas restricciones de la telefonía móvil 3G con respecto al *broadcast* y a favor de la reducción de costos de implementación. De esta forma brinda una buena calidad de transmisión a operadores móviles, soportando *streaming* y descarga de datos a bajo costo tanto en zonas urbanas como rurales. S-DMB es una alternativa para 3G en la distribución de contenidos MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services). El sistema unidireccional del satélite está integrado con la red de telefonía móvil, pudiéndose ver como una red superpuesta permite la distribución de aplicaciones a una amplia audiencia. [38]

La figura 16 muestra el sistema de transmisión del sistema S-DMB con la respectiva interacción de todos sus elementos.

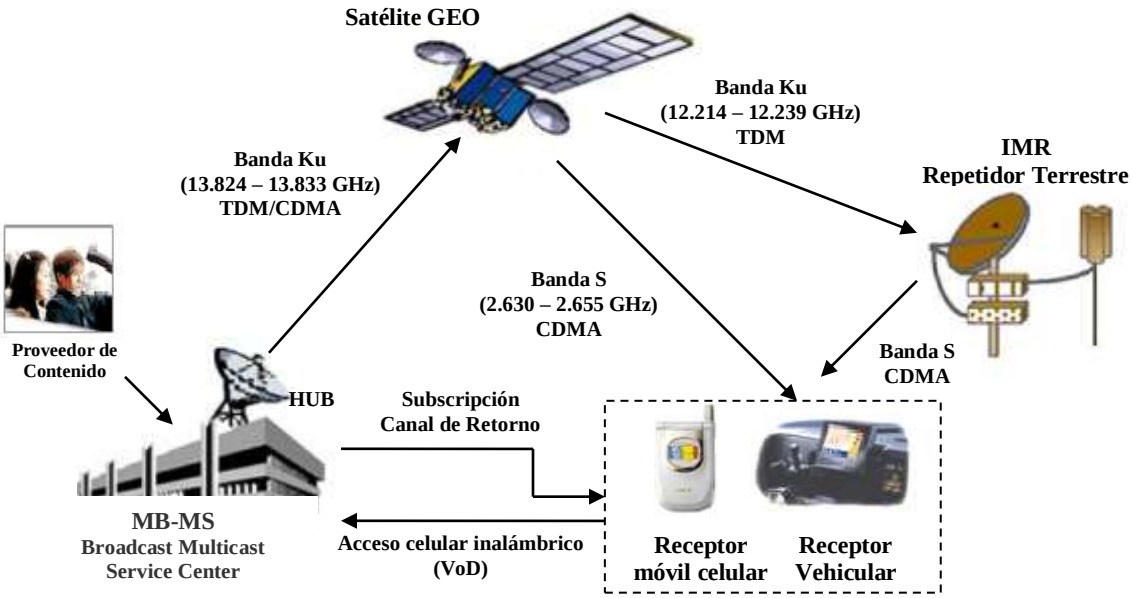



**Figura 16. Sistema de Transmisión de S-DMB [39]**

### 2.4.5.1 Subsistema de transmisión

El sistema de transmisión del estándar S-DMB se basa en un enlace satelital unidireccional con una línea de retorno a través de la red de telefonía móvil 2G-3G, la cual provee interactividad con el usuario. Este sistema de transmisión resulta de la unión entre la arquitectura MBMS y S-DMB, permitiendo la distribución simultánea de contenidos Multimedia (*Stream, Download-and-Play*), aprovechando la amplia cobertura satelital de hasta un 95% de cobertura por celda. [66]
A continuación se pueden ver los elementos que participan en la transmisión S-DMB.

- **BM-SC (Broadcast Multicast-Service Center):** Es el proveedor de contenido a transmitir por la red. [17]
- **HUB:** El Hub envía al satélite los datos recibidos del BM-SC. Constituye la portadora de descarga WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) la cual se modula en las bandas de frecuencias Ku y Ka, obteniéndose un camino directo (Hub-Satélite-Móvil) y otro indirecto (Hub-Satélite-Repetidor T-Móvil) [17]
- **Segmento Espacial:** Compuesto por satélites geoestacionarios de gran potencia, el enlace de bajada proveniente del satélite considera dos opciones. Por un lado el enlace de bajada directo (Satélite - UE) se realiza mediante la conversión de la portadora WCDMA en la banda FSS (Fixed Satellite System) y se transmite en la banda MSS (Mobile Satellite Service). Si el enlace de bajada es hacia los repetidores, o enlace de bajada indirecto, las bandas de frecuencia son las MSS o HDFSS (High Density Fixed Satellite Systems) [17]
- **IMR (Intermediate Module Repeater):** Son Los repetidores terrestres, que reciben la señal satelital y la amplifican, dando cobertura en zona urbanas y suburbanas. Se pueden considerar tres tipos de repetidores que son el repetidor con conversión de frecuencia, el repetidor en el mismo canal y el repetidor basado en nodos. [17]
- **Receptor Móvil de Usuario UE (User Equipment):** Terminal de usuario apto para la recepción de los servicios S-DMB. No posee una comunicación directa con el satélite en el caso de requerir contenidos interactivos, por lo que se requiere el uso de un canal de retorno mediante una red alterna. [17]

### 2.4.5.2 Capa de acceso

El esquema de acceso por radio S-DMB está basado en la interfaz de WCDMA, intentando lograr la máxima compatibilidad con UMTS. El esquema de acceso inicia con las especificaciones 3GPP (con modificaciones y adaptaciones) de WCDMA ya que la base de S-DMB es unidireccional y los servicios son P-T-M (Point to Multipoint), donde sólo el sentido de descarga de la interfaz de WCDMA es de interés. Por lo tanto, sólo un subconjunto de las funcionalidades de WCDMA son requeridas. Inicialmente el satélite recibe las señales de la estación en tierra en la banda Ku. Dependiendo de los requerimientos de usuario convierte la señal y la retransmite ya sea directamente a los dispositivos móviles (banda S o 2.6 GHz) o a repetidores terrestres, que a su vez convierten la señal TDM (banda Ku) en una señal WCDMA (banda S). [17]

Es así como los receptores móviles reciben la señal modulada en WCDMA (banda S). En el receptor las señales en la banda S se combinan por medio de un esquema de diversidad, donde el ensanchado de la modulación se realiza mediante un código Walsh[7] a 16.384 MHz. Este sistema transmite 31 canales WCDMA con un total de 254 Kbps cada uno. Para proteger la información ante interferencias de multitrayecto o de cambio de frecuencias, el sistema S-DMB utiliza mecanismos de corrección de errores como RS, Convolucional, Time Interleaver, Interleaver de Frecuencia. [17]

### 2.4.5.3 Parámetros de configuración

La tabla 9 muestra los principales parámetros de configuración del sistema S-DMB para brindar el servicio de televisión digital a dispositivos móviles.

**Tabla 9. Parámetros de Configuración y Características del Sistema S-DMB [39] [29] [40]**

| PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTANDAR S-DMB | |
|---|---|
| Modulación | DS CDMA, BPSK/ QPSK |
| Tasas y códigos de corrección de errores | (204, 188) RS (externo)<br>(1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8) Convolucional (Interno)<br>*Time Interleaver*, *Frecuency Interleaver* |
| Múltiplex | MPEG-2 TS |
| Canales | Banda S, Ku |
| Video | MPEG-4 P-10 H.2.64 norma ISO/ IEC 14496-10 calidad QVGA |
| | Máxima resolución de 320 x 240 Píxeles 15 fps |
| | Tasa de bits máxima: 384 Kbps |
| Audio | MPEG-2 AAC + SBR<br>ISO/IEC 14496-3 |
| | Tasa bits máxima 48 Kbps |
| Datos | MPEG-4 BIFS mono media y multimedia |
| Resolución SDTV a velocidades de >300Km/H | |
| Lenguaje de interactividad MATE | |
| 19 canales de radio, 15 canales de TVDM – SDTV y 3 ch de datos, a una tasa total de 254 Kbps aprox. por canal | |

[7] Código de propiedades aleatorias, que posee una secuencia ortogonal PN (pseudo - ruido). Tiene como fin la corrección de señales y es utilizado por lo general en sistemas celulares con tecnología CDMA.

## 2.5 ESTÁNDAR MEDIA FLO

La compañía Qualcomm de Estados Unidos desarrollo el sistema MediaFLO (Media Forward Link Only), que basa su desarrollo en la entrega de contenidos mediante una red *broadcast multicast* multimedia a un bajo costo, sin necesitar el soporte de otras redes para brindar sus servicios. Esta tecnología se basa en redes SFN, proporcionando una buena relación entre la viabilidad técnica y la viabilidad económica, ofreciendo además a los operadores inalámbricos un excelente mecanismo de presentación de contenidos multimedia ante los suscriptores. MediaFLO fue diseñado también para operar en combinación con la actual red de datos celular, a un bajo costo, mayor eficiencia y nuevos servicios. La tecnología FLO ofrece significativas ventajas en comparación a la radiodifusión de formatos para la distribución de contenidos multimedia, o servicios derivados a dispositivos móviles, ya que permite la aplicación de multiplexado estadístico, suministrando una ganancia significativa al codificar el contenido de tiempo real a través de una tasa de bits que define el ancho de banda según el servicio. La capa física de FLO usa en su transmisión las bandas de frecuencia VHF, UHF y la banda L, sobre canales con ancho de banda de 5, 6, 7 y 8 MHz. [41]

Entre los servicios del sistema FLO se encuentran los multimedia *multicast*, incluidos los de tiempo real (multimedia, televisión convencional, teletexto), IPDC para dispositivos movibles (celulares, consolas de juego), *streaming* de audio y video, y servicios que no son de tiempo real (almacenados en memoria), entre otros. El enlace único de FLO utiliza modulación por capas con diferentes configuraciones, que le permite soportar requerimientos de calidad de servicio por canal admitiendo distintas tasas de codificaciones para aplicaciones diferentes. Por otro lado, su sistema de codificación añade al código Turbo. [41]

### 2.5.1 Características del Sistema

La figura 17 muestra las características principales del sistema MediaFLO.

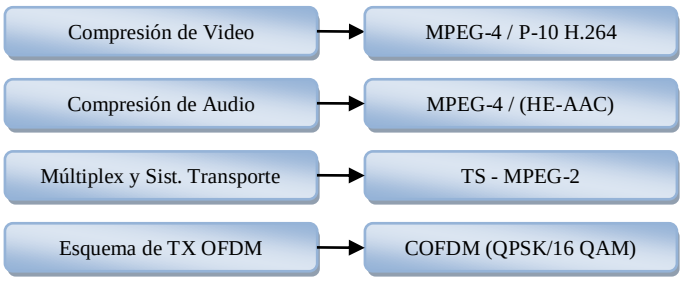



**Figura 17. Características Principales del Sistema MediaFLO [29]**

Para lograr una buena recepción, alto desempeño y eficiencia espectral en escenarios móviles, el sistema FLO utiliza el esquema de transmisión OFDM e incorpora el mecanismo de corrección de errores FEC, el código Turbo también llamado código convolucional concatenado paralelo (PCCC, Parallel Concatenated Convolutional Code). Además del código Turbo, el encapsulamiento también se realiza por medio del ya tradicional RS (Reed Solomon). El sistema FLO esta orientado a lograr una capacidad de transmisión de un bit por segundo, y debido a que los dispositivos FLO usan un pequeño display, es posible lograr una tasa promedio entre 300 y 350 Kbps para servicios de tiempo real de video y audio, velocidades que se logran también gracias a las técnicas de de codificación y compresión. FLO puede soportar transmisiones de alrededor de 20 programas ó servicios en un ancho de banda de 6 MHz. [41] [42]

### 2.5.2 Descripción de la Capa Física

La tecnología FLO está basada en OFDM y diseñada para una interfaz de aire, específicamente para brindar servicios multimedia *multicast* de televisión digital a dispositivos móviles. FLO se basa en la tecnología de red SFN que reduce significativamente el costo del servicio a diferentes usuarios. FLO jerarquiza la cobertura de las redes SFN por zonas, que pueden ser zonas de área amplia (Wide-Area) ó área local (Local-Area). [42]

La figura 18 muestra el sistema de transmisión del estándar Media FLO donde su principal característica radica en el sistema de Modulación por capas.

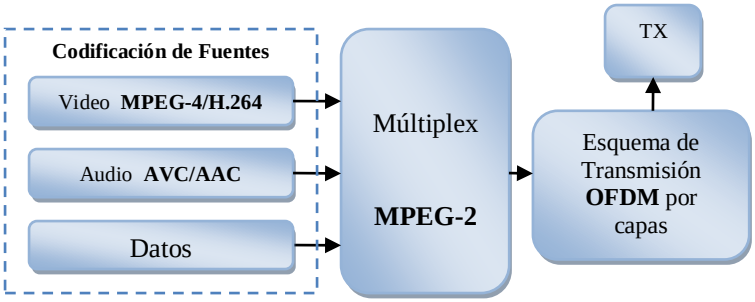



**Figura 18. Sistema de Transmisión del Estándar Media FLO [29]**

A continuación se describen los principales elementos de la capa física del sistema FLO, que hacen posible la transmisión y recepción de televisión digital únicamente a dispositivos móviles en canales de frecuencia de 5, 6, 7 y 8 MHz, a velocidades máximas de 200 Km/h.

#### 2.5.2.1 Prefijo cíclico

Para una reducción óptima de los símbolos de interferencia ISI (Inter Symbol Interference) e ICI (Inter Channel Interference), el prefijo cíclico esta establecido en 1/8, donde la duración del símbolo es de 92.25 microsegundos para un canal de 6 MHz. [42] [43]

#### 2.5.2.2 Señales piloto para la estimación de canal

Las señales piloto son utilizadas en sistemas OFDM para la valoración del canal, señales que son multiplexadas por división de frecuencia y permiten una valoración de la capacidad del canal por medio de un patrón fijo. [42] [43]

#### 2.5.2.3 Estructura de Súper-Trama

La súper-trama tiene una duración de un segundo ya sea en un canal de 5, 6, 7 u 8 MHz. Cada súper trama se compone de 4 tramas de datos, de señales piloto multiplexadas por división de tiempo (TDM) y de símbolos de información de cabecera OIS (Overhead Division Multiplexing). Cada trama individual está organizada de la misma manera. Las señales facilitan la sincronización inicial de la señal FLO y la rápida adquisición de los símbolos OIS, que describen la ubicación de los datos para cada servicio en la súper trama. Los datos para redes de área local ó amplia se operan mediante TDM en cada trama. [42] [33]

En la figura 19 se puede ver la estructura de la súper trama.

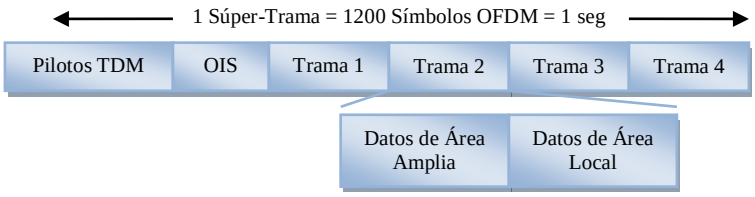



**Figura 19. Estructura de una Súper Trama [42]**

### 2.5.2.4 Estructura de entrelazado y canales lógicos del sistema

A una señal piloto se le asignan 1/8 de las portadoras de una sola capa física FLO y el resto de las 3500 subportadoras son para datos. Estos datos se asignan en grupos de 1/7 de los datos de símbolos válidos, que se referencian como un entrelazado que ocupa 500 portadoras en un símbolo dado. Cada entrelazado es uniformemente distribuido en frecuencia, logrando una alta diversidad de frecuencia. Este entrelazado es asignado a los *Canales Lógicos* de FLO MLC (Multicast Logical Channels). Los MLC varían en duración y en el número de entrelazados ocupados, lo cual provee una flexibilidad en diversidad de tiempo. [42] [43]

Cada servicio FLO es transportado en uno ó más canales lógicos, que permiten la efectividad de una multiplexación estadística, incrementando el número de servicios y programa soportados por un sistema *multicast*, donde cada uno de ellos tiene un promedio reducido de la tasa de datos. Estos MLC pueden ser identificados en la capa de enlace, por ejemplo, el video y el audio se pueden enviar en dos MLC diferentes, y el receptor que está interesado en un determinado componente de audio puede recibir el MLC correspondiente sin requerir el MLC de video, lo que incrementa el ahorro de batería. La ubicación de un MLC en cada trama de una súper trama es la misma, pero su forma y posición varía de súper trama en súper trama. Es el tamaño variable de un MLC lo que permite tasas de datos variables, donde cada MLC se codifica independientemente y cada uno puede tener diferentes modulaciones. Como resultado de lo anterior, FLO puede soportar servicios con diferentes requerimientos de calidad sobre el mismo canal de RF. [42] [43]

### 2.5.2.5 Códigos de corrección y control de errores

FLO incorpora un código interno de corrección de errores Turbo y un código externo RS (Reed Solomon) (16, 12). El código Turbo tiene tasas de código de 1/3, 1/2 y 2/3 y se aplica a paquetes individuales de datos con longitudes de hasta 1000 Bits. Cada código Turbo contiene un ciclo de redundancia CRC (Cyclic Redundancy Check) y esta organizado en filas. El código RS por su parte se organiza en columnas. Esta organización permite al RS recuperar código borrado, por ejemplo, para códigos RS (16, K), donde K es menor o igual a 12, las tramas perdidas son recuperadas completamente. RS no necesita ser calculado cuando la trama está completa. Este mecanismo provee una gran escala de diversidad de tiempo para canales con retardos. [43]

### 2.5.3 Subsistema de Transmisión

A fin de ofrecer la mejor calidad de servicio, la tecnología FLO hace uso del esquema de transmisión OFDM por capas donde el ancho de banda de 6 MHz es dividido en N secciones ó subportadoras. Cada subportadora es modulada en amplitud de símbolo de cuadratura QAM. La trama de bits a utilizar es dividida en N subtramas donde la duración de un símbolo se incrementa en una factor de N en comparación con la tasa total de símbolos que componen la trama. La transmisión y recepción del sistema FLO se basa en el uso del modo 4K y los símbolos de modulación QAM se escogen del alfabeto QPSK a 16QAM. [41] [42] [43]

Una vez divididos los flujos de datos estos pueden conformar una capa base (con video de hasta 15 cuadros por segundo) que todos los receptores pueden decodificar, y una capa de modulación excedida perteneciente a redes

SFN que cubren grandes extensiones. Debido a la naturaleza *multicast* de la señal FLO, el 90% de los usuarios pueden recibir ambas capas de la señal si así se requiere par un servicio en particular. Entre los beneficios ofrecidos por la modulación por capas se encuentran la disminución en la degradación del servicio, mayor cobertura (hasta 3 dB de ganancia incremental), mayor calidad de audio y video sin requerir aumento en el ancho de banda, y recepción de señal en ubicaciones poco accesibles. [41] [42] [43]

En la figura 20 se muestra la constelación 16QAM utilizada (dos capas de señal QPSK) con 2 bits por cada capa. Una codificación interna y externa puede ser ejecutada independientemente por la capa base y la capa extendida de FLO, que provee un ajuste relativo ante desvanecimientos de la señal y ajustes del ancho de banda del canal. [41] [42]

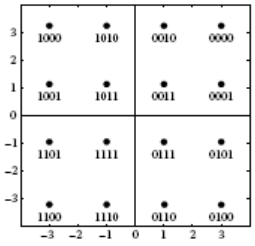



**Figura 20. Constelación 16QAM en la Capa de Modulación [43]**

### 2.5.4 Eficiencia Espectral

La eficiencia espectral de la transmisión del sistema FLO se define como el número de bits de información transmitidos por segundo por unidad de ancho de banda. El cálculo de este parámetro es complicado, debido a las diferentes MLC transmitidas usando solo una fracción disponible de frecuencia y de tiempo, diferentes tasas de codificación y esquemas de modulación. Aun así, el cálculo de la eficiencia espectral puede simplificarse asumiendo que todas las MLC usan la misma constelación y tasa de código. Con el resultado de este cálculo se obtiene un punto de referencia a la hora de elegir una constelación y una tasa de código. [42]

Bajo estas consideraciones la eficiencia espectral del sistema FLO para un ancho de banda de 6MHz es:

- Eficiencia espectral mínima de 0.47 Bits/seg/HZ, con una modulación QPSK y una tasa de código de 1/3
- Eficiencia espectral máxima de 1.87 Bits/seg/Hz, con una modulación 16QAM y una tasa de código de 2/3

### 2.5.5 Redes de Frecuencia Única

El sistema FLO utiliza redes de frecuencia única (SFN) con el objetivo de asegurar que la experiencia del usuario sea lo más uniforme posible sobe toda el área de cobertura. En estas redes las señales provenientes de múltiples transmisores transportan el mismo contenido e iguales formas de onda. Como resultado, dichas señales pueden ser vistas por los receptores como si fueran señales provenientes de la misma fuente con diferentes retardos de propagación. En este caso los dispositivos FLO combinan la señal y la demodulan, ya sea que ésta señal provenga de múltiples transmisores ó de un transmisor de una misma celda, asegurando transiciones suaves dentro del área de cobertura de una red a otra. Como resultado, no es necesario una operación explicita de *handover*. Por otro lado, dentro de la operación de SFN, los retardos de las comunicaciones de canal pueden ser muy largos y la ecualización es un componente esencial en el receptor, por lo que el sistema FLO utiliza el esquema de transmisión OFDM. Las Redes de área local y amplia se pueden soportar sobre una misma red SFN, doblando el valor de la eficiencia espectral para cualquier aplicación. [42] [43]

### 2.5.6 Cobertura del Sistema

La capa física de la red FLO puede implementar el uso de redes SFN para áreas locales y para áreas amplias, lo que provee al operador de red la opción de variar la línea de programación según el área geográfica. Para un sistema FLO el área local se conforma de zonas pequeñas sin áreas metropolitanas, mientras que el área amplia es la conformación de muchas áreas locales. Un transmisor FLO que opera en la banda de frecuencia de UHF con potencia de 50 Kw puede ofrecer una cobertura entre 30 y 40 Km. La unión de 2 ó 3 transmisores puede cubrir un área amplia, mientras que uno solo puede cubrir un área local. [42] [43]

### 2.5.7 Ahorro de Batería

El ahorro de batería en los dispositivos FLO se debe a la conformación de una serie de parámetros y mecanismos como el intercalamiento de bits, la organizaron de los MLC y la operación de la súper trama. Además de que existe la posibilidad de demodular los datos que son requeridos por un servicio específico, el video y el audio se demodulan por separado, lo que ocasiona que los circuitos del consumo de batería en el receptor estén en estado *Off* el resto del tiempo. Por ejemplo, cuando un usuario escoge solo el servicio de audio todo el consumo de batería asociado con el audio queda eliminado, reservando batería para otros servicios [43].

### 2.5.8 Parámetros de Configuración

La tabla 10 muestra los principales parámetros de configuración del sistema MediaFLO, con un esquema de transmisión OFDM, en modo 4K y con un ancho de banda de 6 MHz, con el objetivo de brindar el servicio de Televisión Digital a dispositivos móviles.

**Tabla 10. Parámetros de Configuración del Sistema MediaFLO [17] [42] [43]**

| PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTANDAR MediaFLO | |
|---|---|
| Origen, Año de ratificación, y Estandarización | QUALCOMM, USA 2005, TIA – ETSI -ITU |
| Video | MPEG 4 P-10 H.2.64 QVGA<br>Norma ISO/ IEC 14496-10 |
| | Máxima resolución de 320 x 240 Píxeles |
| | Tasa de bits máxima: 384 Kbps |
| Audio | MPEG-4 P- 3 HE-AAC<br>(High Efficiency – Advanced Audio Coding) |
| | Tasa bits máxima 16 Kbps |
| Esquema de Trasmisión | **OFDM** |
| Modulación | QPSK, 16QAM |
| Modo de Transmisión | 4K |
| Tasas de codificación | RS(16, 12), Turbo (1/2, 1/3 y 2/3) |
| Intervalo de guarda | 1/4, 1/8 y 1/16 |
| Ancho de banda del canal | 5, 6, 7 y 8 MHz |
| Banda de Trabajo | VHF (174-216MHz) y UHF (IV - V)(700 MHz en USA) |
| Intervalo de guarda | 1/4, 1/8 y 1/16 |
| Tasa máxima total de datos | 24 Mbps (Teórico), 15 Mbps (Real) |
| Ofrece 20 canales de TVDM con resolución SDTV, a velocidad de hasta 120 Km/H cuando el dispositivo celular esta en un vehículo | |

## 2.6 ESTÁNDAR MPH

El estándar ATSC es la norma estadounidense para la transmisión de Televisión Digital Terrestre. En el momento éste estándar no cuenta formalmente con las recomendaciones de su propia evolución técnica para la transmisión de señales a dispositivos móviles. Sin embargo, en el último año se ha trabajado en la adaptación de aplicaciones que permitan el acceso móvil sobre la norma ATSC, realizadas por empresas también norteamericanas. Entre ellas tenemos el Media FLO mencionado anteriormente, y el MPH (Mobile-Pedestrian-Handheld) in-band, el cual se describirá a continuación. [44]

MPH fue presentado al mundo en abril de 2007, sistema de Televisión Digital Móvil *in-band,* compatible con el estándar ATSC, que tiene el potencial para crear nuevos mercados, opciones de programación e ingresos para los radiodifusores. Fue desarrollado por *LG Electronics*[8], *Harris Corporation* y Zenith[9], ofreciendo mayor versatilidad, confiabilidad y robustez a la señal de Televisión Digital, con programación HDTV en receptores fijos y programación SDTV y *datacasting* a dispositivos móviles y portátiles. [44]

MPH agrega dos normas de ATSC claves para su funcionamiento, que son el sistema Enhanced VSB (E-VSB) y el 8-VSB (Vestigial Side Band), sistema de modulación que se encuentra en el corazón del estándar ATSC, actualmente usado por más de 1.500 difusores Televisión Digital en EE.UU. [45]

### 2.6.1 Características del Estándar

Dentro de las características técnicas más representativas del estándar se encuentran las siguientes: [46]

- Retrocompatibilidad con el equipo de transmisión y recepción ATSC 8-VSB existente, por lo que no necesita transmisores adicionales. Es 100% compatible con la transmisión realizada por ATSC, su transmisión posee un espectro idéntico a 8-VSB y utiliza los canales ya asignados para radiodifusiones DTV.
- Capacidad de recibir señales móviles a alta velocidad con una sola antena.
- Flexibilidad en la velocidad de transferencia y robustez de los datos.
- No es un enfoque celular.
- Todos los receptores ATSC, al transmitir con MPH funcionan adecuadamente.
- Recepción de alta calidad para velocidades superiores a los 300 Km/h.
- Hasta 9 programas para receptores móviles con una tasa de 500 Kbps para cada *radiodifusor* al tiempo que se mantiene un programa de 5 Mbps en la trama principal.
- Datos extremadamente eficientes y completamente escalables, donde 3 Mbps proporcionan hasta 1 Mbps de servicios móviles.
- Ahorro de energía para dispositivos de mano gracias a la transmisión *Bursted*, que permite a los circuitos RF del receptor permanecer en estado inactivo gran parte del tiempo, aumentando así la duración de la batería.
- Tasa de flujo mínima de 300 Kbps.
- Inmunidad al ruido por ráfagas y a los desvanecimientos.
- Compatibilidad con el *hardware* existente utilizado por ATSC – MPEG.

[8] Compañía fundadora del Foro ATSC, que ofrece una amplia gama de productos de medios digitales, aparatos digitales y teléfonos móviles.

[9] Organización fundadora del Foro ATSC y compañía internacional de comunicaciones y tecnologías de la información al servicio de la defensa y los mercados comerciales en más de 150 países.

### 2.6.2 Compatibilidad con ATSC

Al ser el complemento del estándar ATSC para recepción del servicio de Televisión Digital en dispositivos móviles, MPH presenta ciertos aspectos compatibles con este estándar. Dentro de los más importantes se encuentran los siguientes: [44] [45]

- Compatibilidad y eficacia de los servicios móviles y portables dentro del estándar ATSC con un espectro de 6 MHz.
- Compatibilidad con la capa física RF donde MPH no interfiere en la detección de errores de los actuales receptores de Televisión Digital y no incrementa la potencia de transmisión.
- Compatible con el subsistema de transponte MPEG / ATSC, donde MPH no interfiere con la creación de contenido principal (servicios) del flujo de paquetes ATSC – MPEG. Los paquetes MPH aparecen como paquetes nulos ante los receptores Móviles.
- Compatibilidad con la transmisión de redes SFN, tanto en la capa de transporte como en la capa física.

## 2.7 COMPARACIÓN TÉCNICA DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES

Como resultado del análisis de los diferentes estándares de TVDM que operan con diversos parámetros y variadas condiciones de recepción, a continuación se presenta la comparación técnica con los cuatros principales estándares que predominan a nivel mundial. Cada uno de estos sistemas posee características tecnológicas particulares que pueden brindar experiencias de recepción diferentes para cada usuario. El objetivo de esta sección es presentar un estudio comparativo de los sistemas de TVDM, con el fin de observar las ventajas y desventajas que cada uno de ellos puede ofrecer para el territorio colombiano.

El estándar MPH no se consideró dentro de esta comparación ya que sus capacidades técnicas para brindar TVDM hasta el momento están siendo motivo de estudio y sus desarrolladores se encuentran realizando pruebas y mediciones para evaluar la calidad dirigida a dispositivos móviles por parte de este estándar. Por su parte, las soluciones híbridas satelital – terrestre como DVB-SH y S-DMB se encuentran en la parte inicial de su implementación en los países que ya han adquirido soluciones de difusión terrestres para movilidad como DVB-H y T-DMB respectivamente. Es por esto que no se consideró la comparación técnica de estos sistemas, ya que resultaría muy apresurado para Colombia pensar en estas soluciones híbridas, pues primero es necesario evaluar el desempeño de los sistemas móviles terrestres.

La tabla 11 muestra la comparación técnica de los estándares para difusión del servicio de TVDM más desarrollados hasta el momento.

**Tabla 11. Comparación Técnica de los Estándares de Televisión Digital Móvil más Desarrollados [17] [20] [22] [29] [31] [47] [48] [49] [50] [51] [52] [53]**

| Estándar / Características | DVB-H | ISDB-T | T-DMB | MediaFLO |
|---|---|---|---|---|
| **Origen y Año de ratificación** | Europa 2004 | Japón - Brasil (SBTVD-T) 2005 - 2007 | Corea del Sur 2005 | EE.UU. 2005 |
| **Estandarización** | ETSI | ARIB, ITU | ETSI, ITU | TIA, ETSI, ITU Qualcomm |
| **Bandas de frecuencia** | **UHF** IV-V (470-862MHz) y L (1452-1492MHz) | **UHF** IV-V (470-890MHz) | **VHF** (174-216MHz) y L (1.452-1.492MHz) | Bandas VHF y UHF - V (700MHz) |
| **Ancho de banda del canal (MHz)** | 5, 6, 7 y 8 | 6 ó 6 / 14 = 428.57 | 1.536 | 5, 6, 7 y 8 |
| **Codificación de Fuentes** | **Video:** MPEG-4 P-10 H.2.64 norma ISO/ IEC 14496-10, Máxima resolución de 352 x 288 Píxeles | **Video:** MPEG-4 H.264, Máxima resolución de 320 x 240 Píxeles | **Video:** MPEG-4 P-10 H.2.64 calidad QVGA, Máxima resolución de 352 x 288 Píxeles | **Video**: MPEG 4 P-10 H.2.64 QVGA, Máxima resolución de 320 x 240 Píxeles |
| | **Áudio:** MPEG-4 P- 3 AAC-LC Profile norma ISO/IEC 14496-3 | **Áudio:** MPEG-4 P- 3 AAC-LC Profile norma ISO/IEC 14496-3 | **Audio:** MPEG-2 Musicam (Radio) (basado en DAB) MPEG-4 – BSAC, HE-AAC (Para Multimedia) | **Audio**: MPEG-4 P- 3 HE-AAC |
| **Trama de Transporte-Capa de red** | MPEG-2 | MPEG-2 TS (IP para 1-Seg) | MPEG-2 TS | Streams mapeados en canales lógicos |
| **Esquema de Transmisión** | COFDM | BST-OFDM | COFDM Jerárquico | OFDM Por capas |
| **Codificación del canal y métodos de corrección de errores ante interferencias** | - RS (255, 191)<br>- Convolucional (1/2, 2/3)<br>- MPE – FEC (3/4)<br>- Time Interleaver | - RS(204, 188)<br>- Convolucional (1/2, 2/3)<br>- Bit Interleaver<br>- Time Interleaver | RS(204, 188)<br>Convolucional (1/2, **2/3**)<br>- Time Interleaver<br>- Frecuency Interleaver<br>- Single bit error | - RS(16, 12)<br>- Turbo (1/2, 1/3 y 2/3) |
| **Intervalo de guarda (µs)** | 1/4, **1/8**, 1/16 y 1/32 (1/8 más recomendado) 224 | 1/4, **1/8**, 1/16 (1/8 más recomendado para 1-seg) 126-252 | 1/4, 1/8 | 1/4, 1/8, 1/16 y 3/16 (1/8 más recomendado) 92.25 |
| **Tamaño FFT** | 2K, 4K y 8K | 4K | 2K, 1K y 05K | 4K |
| **Modulación** | QPSK, 16 QAM y 64 QAM | QPSK, DQPSK y 16 QAM | **QPSK**, DQPSK | QPSK y 16 QAM |
| **Eficiencia espectral Bit/s/Hz** | 0.415 – 1.86 | -- | 0.2 – 1.2 | 0.47 – 1.87 |
| **Relación C/N (dB) Recepción móvil** | 8.5, 14.5, 17.5 | 15 | 14 | 7.5, 13.5, 10 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Métodos de ahorro de energía** | Time Slicing (muy robusto)<br><br>El mecanismo de Time-slicing permite al sistema DVB-H ahorros de batería de hasta de un 90% en comparación a otras normas. Es el método de ahorro de energía más eficaz del mercado. | Código de frecuencia Interleaver<br><br>La solución utilizada por parte del 1-segmento para el control de ahorro de batería en dispositivos ISDB-T no ha tenido considerables apreciaciones por lo que se concluye que esta norma sigue en el camino de perfeccionamiento de este mecanismo. | Micro Time Slicing<br><br>En la actualidad los dispositivos T-DMB se han venido difundiendo a lo largo de los países donde se desarrolla la norma, los cuales son los mismos en los que la norma inicial DAB ya operaba. Sin embargo, los métodos de ahorro de batería no han alcanzado superar los niveles establecidos por las normas DVB-H ó MediaFLO | Código de Tiempo Interleaver y frecuencia Interleaver<br><br>La tecnología FLO ha optimizado eficazmente el consumo de eléctrico en sus terminales por medio de técnicas de diversidad de tiempo y frecuencia. Esta tecnología accede a una pequeña fracción de señal sin comprometer los otros parámetros de frecuencia ó tiempo. Los dispositivos FLO pueden gozar de tiempos de servicio comparables a los de la telefonía celular (voz) actuales. Al usar múltiplexación por división de tiempo este estándar transmite trenes de contenido cada cierto intervalo dentro de la onda. |
| **Distancia máxima de Cobertura por transmisor** | Superior a 40 Km | Superior a 50 Km | Superior a 80 Km | Superior a 25 Km |
| **Recepción con posibilidad de Seamless handover** | Si | Si | Si | Si |
| **Tasa de bits** | **Video:** 384 Kbps (max) | **Video:** 180 – 256 Kbps (max) | **Video:** 200 a 384 Kbps (max) | Video: 384 Kbps (max) |
| | **Audio:** 80 Kbps | **Audio:** 48-96 Kbps | **Audio:** 80 Kbps | Audio: 16 Kbps |
| **Tasa máxima total de datos multiplexados** | 23.7 Mbps (Teórico)<br>Superior a 15 Mbps (Real) | 1.8 Mbps (Teórico)<br>Superior a 1.4 Mbps (Real) | 1.8 Mbps (Teórico)<br>Superior a 1.4 Mbps (Real) | 24 Mbps (Teórico)<br>Superior a 15 Mbps (Real) |
| **Tasa máxima total de un solo tipo de servicio** | 0-10 Mbps | 0 – 15 Mbps | 8Kbps - 18 Mbps | 12 Kbps – 1 Mbps |
| **Redes de Distribución** | Admite un empleo de redes MFN y redes SFN, con estas últimas se logra la sincronización de todos los trasmisores en términos de bit's, frecuencia y tiempo. Es necesario para esta implementación el uso de repetidores para brindar mayor | Basa su difusión en redes SFN, que le permite al sistema la utilización eficiente del espectro radioeléctrico. | La red de difusión puede operar en redes SFN ó en redes MFN. En redes SFN todos los transmisores están sincronizados en la misma frecuencia. En MFN la misma señal se tramite en diferentes frecuencias de transmisor a transmisor esta no requiere de | Su difusión se basa exclusivamente en el uso de redes SFN, organizadas por zonas de área amplia (Wide-Area) y área local (local-área) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | cobertura a un bajo costo, sin incrementar el número de trasmisores. Este tipo de difusión ofrece una mayor eficiencia espectral. | | mecanismos muy eficientes de sincronización pero si requiere un mayor espectro de radiación para un mimo numero de canales en comparación con las redes SFN | |
| **Lenguaje de interactividad (Middleware)** | MHP Middleware altamente desarrollado y probado en varios países. | BML (Japón) con un alto desarrollo.<br>GINGA (Brasil) se encuentra en estudio. | MATE ofrece interactividad al sistema con un lato grado de desarrollo | --- |
| **Televisión móvil gratuita** | El sistema DVB-H posee una configuración flexible de sus parámetros, por lo que permite operación paga ó gratuita de televisión móvil (independiente del modelo de negocios), también puede difundir televisión de alta definición (servicio fijo) y televisión móvil en el mismo canal de 6MHz (trasmisión jerárquica) ó radiodifusión de ambos servicios (fijo y móvil) en canales diferenciados. | La televisión gratuita ofrecida por el estándar ISDB-T modificado he implementado en Brasil ha presentado dificultades de implementación hasta la fecha, debido a que el mercado japonés es muy diferente al de los países latinoamericanos. | No se tienen referentes al respecto. | El sistema FLO es básicamente un estándar propietario y no contempla la difusión de contenido gratuito. |
| **Compañías que fabrican dispositivos de TVDM** | Nokia, Motorola, Philips, Sagem, Sony, Ericsson, Samsung, LG, Sony Ericsson, Siemens | Sony, Panasonic, Toshiba, Sharp, NEC, Casio, Ntt, Sanyo, Sony Ericsson, Nintendo DS, Hitachi | Samsung, LG, Sharp(Dual) | LG, Samsung |
| **Disponibilidad de los terminales** | Debido a la flexibilidad en la configuración de la red DVB-H y su adaptabilidad ante el modelo de negocios más recomendable para un determinado país, las redes DVB-H pueden ser o no jerárquicas lo que determinaría los receptores DVB-H con los que operaria el sistema. Desde el punto de vista técnico es completamente viable la existencia de receptores duales DVB-T/DVB-H, siendo desde este punto las cuestiones regulatorias y de mercado las que harán que se desarrollen terminales duales DVB ó | Los costos de los terminales ISDB-T no son muy populares, debido a sus pocos fabricantes a nivel mundial. A manera de ejemplo, en Brasil existen solamente dos modelos de terminales móviles con costos relativamente altos, por lo que el gobierno de ese país ha considerado la reducción de impuestos ó subsidiar este tipo de receptores para que los usuarios puedan acceder a ellos. | El estándar T-DMB opera (ocluyendo Corea) varios países tanto europeos como asiáticos en los cuales y ya desde hace varios años operaba la red DAB que brindaba contenidos de radio digital, estos países pueden presentan mercados diferentes a los latinoamericanos, por esta razón acceder a dispositivos T-DMB puede ser costo. Además la tecnología contempla su operación en la banda de 1.536MHz, la cual no es la asignada para radiodifusiones móviles en países de Suramérica. | El sistema Media FLO ofrece contenidos de TV digital móvil en todo Estados Unidos y las empresas que fabrican sus terminales son pocas pero ofrecen dispositivos en todo el mundo así que son de fácil adquisición. . |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | independientes para cada entorno comercial normativo. Los terminales DVB-H, son desarrollados por un consorcio abierto mundial que cuenta con mas de 270 miembros de 35 países, incluyendo los principales fabricantes asiáticos. | | | |
| **Disponibilidad a modelos de negocios** | DVB-H permite televisión móvil con varios modelos de negocio y de regulación según las necesidades socioeconómicas del país, evitando la fragmentación de estándares y una mayor riqueza en los modelos de servicios | El modelo de negocios ofrecido por Japón se encuentra muy condicionado por su regulación y no contempla medidas alternativas de TV en movilidad con pluralidad de canales ni con la colaboración de los operadores de telecomunicaciones | Uno de los modelos de implementación de la norma T-DMB, que aplica principalmente para países europeos y asiáticos es el de su bajo costo de implementación, ya que al operar sobre el estándar DAB, el cual lleva ya mucho tiempo de haber sido desarrollado. Es de tener en cuenta que la implementación de este estándar tiene un origen asiático donde los modelos de negocios pueden resultar diferentes a los encontrados en Latinoamérica. | MediaFLO permite la implementación de modelos de negocios con los diferentes operadores de telefonía celular, permite soporta de interactividad y demás servicios adicionales ofrecidos por la televisión digital móvil, al ser una tecnología propietaria, el acceso a todos sus servicios se ve restringida únicamente a los suscriptores. |
| **Costo para radiodifusores** | Menores por mayor competencia entre fabricantes | Más elevados por menor número de fabricantes | Más elevados por menor número de fabricantes | Más elevados por menor número de fabricantes |
| **Número de países con el estándar** | 35<br>(Ubicados los 5 continentes) | 2<br>(Japón, Brasil) | 4 (Corea, Alemania, China y reina Unido) | 1<br>(Estados Unidos) |
| **Compatibilidad de los terminales con las redes celulares** | La tecnología de los *chips* receptores DVB-H para converger en un mismo teléfono celular con sistemas 2.5G y 3G de telefonía móvil tiene un alto grado de desarrollo. Sin embargo, la cercanía en frecuencia que las señales DVB-H presentan con 2.5G como GSM/EDGE puede generar interferencias, las cuales pueden ser solucionadas mediante la implementación de filtros Dúplex e interruptores Switch Tx/Rx. Las soluciones técnicas en cuanto | El sistema presenta alta afinidad técnica con tecnologías 3G (WCDMA, UMTS-3GSM). Las empresas de dispositivos ISDB-T a nivel general presentan una baja incursión en el mercado Colombiano, además las tecnologías de telefonía móvil celular Japonesas como 3GSM han implementado sus servicios en frecuencias (1.9-2.1 GHz) diferentes a las implementadas en Colombia, lo que disminuye posibilidades ó acuerdos entre fabricantes de *chips* receptores ISDB-T 1-Segmento y los | Esta norma presenta una compatibilidad técnica con las tecnologías 3G únicamente, beneficiando principalmente a las compañías en Colombia (como Comcel y Tigo) que tengan un mayor adelanto técnico (experiencia) con estos sistemas de acceso. Los adelantos técnicos de la norma Coreana en cuanto a la convergencia en un mismo dispositivo evitando interferencias se encuentran más desarrollados cundo esta se realiza con tecnologías de acceso 3G.<br>La recepción de TVDM en | La compatibilidad ó desarrollos técnicos de MediaFLO para operar sin interferencias en un mismo terminal de telefonía móvil está orientada a las tecnologías 3G (W-CDMA, UMTS). La empresa desarrolladora de MediaFLO, Qualcomm, ofrece un alto soporte técnico para establecer convenios o modelos de negocios con compañías que prestan el servicio de telefonía móvil celular para la convergencia en un mismo dispositivo de estos sistemas. En |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | a interferencias de señales de ambas tecnologías ofrecidas por DVB-H son amplias, lo que posibilita el establecimiento de modelos de negocios con los operadores de telefonía móvil celular aun cuando la convergencia no solo la abarque la coexistencia en un mismo celular si no que implique plataformas de interactividad. Además, el soporte brindado por las diferencies compañías productoras de terminales DVB-H, que son en gran medida las mismas que producen celulares para telefonía móvil, incrementa las economías de escala beneficiando directamente al usuario. | fabricantes de terminales de telefonía móvil para Colombia. Lo anterior solo considerando la convergencia en un mismo terminal de las dos tecnologías, ya en la medida de establecimiento de modelos de negocios con plataformas de interactividad, la convergencia sería aun mas difícil, por lo que se debería considerar para el usuario portar varios terminales, donde uno de ellos sea para la comunicación móvil celular y otro para la TVDM. | dispositivos celulares presenta un mayor aprovechamiento del espectro en la banda UHF, y en la banda L su desempeño también es bastante bueno, sin embargo en Colombia esta banda ya se encuentra asignada para otro tipo de servicios, razón por la cual que la norma T-DMB para Colombia tendría una limitante de operación ya que no existe una frecuencia optima disponible para este servicio en el país. | Colombia existe un buen mercado de dispositivos celulares de compañías productoras tanto de terminales MediaFLO y de telefonía celular, aumentando así las posibilidades de adaptación de esta tecnología en el país. |

### 2.7.1 Análisis de la Comparación Técnica de los Estándares de Televisión Digital Móvil para Teléfonos Celulares

DVB-H es la variante tecnológica de sistema de radiodifusión DVB-T, T-DMB por su parte evolucionó tecnológicamente de la norma DAB, MediaFLO que es una tecnología propietaria desarrollada por Qualcomm y finalmente 1-Segmento que toma una porción del espectro destinado a ISDB-T para brindar TVD a dispositivos móviles. Todas estas tecnologías comparten muchas características similares.

Las fuentes de audio y video de los diferentes estándares de TVDM han evolucionado técnicamente para soportar las diferentes condiciones a las que se ve sometida la señal en ambientes móviles. El cambio del estándar MPEG-2 a MPEG-4 en todos los estándares de TVDM se debe a que los parámetros en cuanto a compresión de las fuentes de video y audio realizados por el estándar MPEG-2 no son suficientes para cumplir con los requerimientos del servicio. MPEG-4 es un estándar diseñado para permitir la codificación de datos multimedia en forma de objetos digitales para lograr una mejor interactividad, que lo hace especialmente adecuado para dispositivos periféricos móviles. Esta norma ofrece una reducción en el ancho de banda utilizado por la señal digital de hasta un 50% tanto en audio y video, independientemente de la plataforma de distribución de contenidos, aumentando así la oferta y pluralidad de canales. MPEG-4 permite codificar flujos de video a partir de 40 Kbps, transmitiendo simultáneamente imágenes de definición reducida a velocidades de transmisión baja permitiendo de ese modo la distribución de contenidos audiovisuales de reducido tamaño adaptados a las pantallas de los teléfonos celulares, PDA o a las pantallas de los automóviles. Respecto al audio utilizado por los estándares, es general la utilización del MPEG-4 P3 AAC pues brinda mayor robustez a la señal y mayores parámetros de calidad. Dentro de estas características DVB-H y Media FLO pueden ofrecer una mejor calidad de señales de audio y video ya que sus tasas totales de transmisión son superiores a las ofrecidas por T-DMB e ISDB-T.

El subsistema de multiplexación de cada uno de los estándares inicia a la salida de cada compresor de las fuentes del sistema. Las señales de video, junto con los datos auxiliares (flujos adicionales, subtítulos, etc.) y de control (acceso condicional) conforman un único múltiplex de transporte. Al ingresar las señales, el multiplexor divide los flujos elementales de video, audio y datos en unidades más pequeñas y las multiplexa en paquetes de transporte. Para este subsistema, todos los estándares han adoptado MPEG-2 norma ISO/IEC 13.818-1 que ofrece flexibilidad a la señal, con algunas restricciones y especificaciones descritas en los respectivos estándares.

Cualquiera que sea el escenario de transmisión, tanto la modulación y los parámetros de codificación son configurados para ofrecer niveles de protección ante errores que se produzcan en la señal. El costo de usar mayores técnicas de corrección de errores radica en una disminución de la capacidad de multiplexación de la red, disminuyendo la tasa de bits de datos transmitidos. Las tasas de datos están ligadas a la cobertura de la señal y es así como todos los estándares proveen el uso de repetidores en la misma frecuencia mediante SFN, con el fin de mejorar dicha cobertura. Según los resultaos de la tabla 11 los sistemas DVB-H y MediaFLO transportan los más altos niveles de tasa de datos, logrando una mayor eficiencia espectral en comparación con los otros estándares, teniendo una mayor posibilidad de encontrar canales de frecuencia disponibles en diferentes bandas de difusión.

Haciendo referencia al esquema de transmisión, un estándar que posea un sistema que pueda soportar una gran variedad de esquemas de modulación (QPSK, 16 QAM ó 64QAM) y técnicas robustas de corrección de errores, convierte a la tecnología en una que puede desempeñarse en una gran variedad ambientes y condiciones de recepción. Todos los estándares mencionados en la tabla 11 han escogido a OFDM como su esquema de transmisión. Estos sistemas presentan diferentes configuraciones en sus esquemas de modulación, donde DVB-H es el estándar que más esquemas de modulación presenta tanto para condiciones de movilidad media como alta y en escenarios abiertos ó cerrados, también posee el MPE-FEC, un sistema robusto de corrección de errores y no es manejado por los otros sistemas. Sin embargo, el código Turbo incluido en la modulación del sistema MediaFlo es uno de los codificadores más eficientes y modernos existentes a la fecha. Es así como se puede concluir que los

sistemas DVB-H y MediaFLO pueden lograr una mayor eficiencia ante errores de multitrayectoria y pérdidas de bits en condiciones extremas de recepción. [17] [29]

El término de eficiencia espectral se refiere a la tasa neta que un sistema es capaz de trasportar dentro del ancho de banda asignado, bajo condiciones dadas de razón señal a ruido en un ambiente de propagación determinado. Este parámetro esta expresado en bits/s/Hz. La eficiencia espectral de los diferentes sistemas se encuentra en un rango de 0.4 a 1.87 Bits/s/Hz en la banda UHF, donde el sistema DVB-H ofrece la mayor eficiencia espectral con altas tasas de datos.

Los mecanismos utilizados por los estándares de TVDM para el ahorro de batería varían de sistema a sistema. De todos ellos el método *time slicing* es el más recomendado, ya que ayuda a consumir menos energía al sistema aun con tasas elevadas de bits. A manera de ejemplo, si un mismo canal de televisión es transmitido por medio del sistema DVB-H, ISDB-T, T-DMB ó MediaFLO con la misma tasa de datos dada de 570 Kbps, el receptor debe permanecer en estado activo para la recepción de los datos en diferentes momentos. La transmisión de estos 570 Kbps se realiza por medio de múltiples tasas de bits, es así que si esta señal se recibe con terminales DVB-H este debe estar encendido un 38% del tiempo, lo mismo ocurre para el sistema MediaFLO. En el sistema T-DMB los receptores trabajan para lograr la recepción de esta señal un 40% del tiempo, mientras que para el sistema ISDB-T los terminales están activos un 46% del tiempo. Por lo mencionado anteriormente se pude deducir que los mecanismos de ahorro de energía para los terminales DVB-H y MediaFLO son los más eficientes, ya que la tasa de datos de un solo servicio representa una muy pequeña porción de la tasa total de datos en el multiplexor. Es de anotar que si la transmisión comprende solamente un servicio de tipo radio - audio ó señales con bajas tasa de bits, todos los sistemas trabajan de manera apropiada el consumo de energía. [17] [29]

Los diferentes servicios que brindan los estándares pueden ser utilizados a través de diversos terminales portátiles como teléfonos celulares, PDA´s, dispositivos en automóviles, entre otros. Esta innovación y variedad de dispositivos cada vez va en aumento, debido a la gran competencia que hay entre los estándares y las respectivas compañías que producen los receptores. Las alianzas estratégicas entre las compañías productoras de terminales móviles y los diferentes estándares de TVDM se han venido presentando a lo largo del desarrollo de los sistemas, por lo que la difusión y aceptación de un estándar en particular determina el mercado y la exclusividad con la que operaran las empresas que producen estos dispositivos. Esta situación puede resultar determinante en el momento de escoger un estándar, ya que al existir una mayor demanda de una marca en particular de un dispositivo de TVDM, los precios para adquirir el terminal por parte de un usuario pueden ser menores a diferencia de uno que haya adoptado por una norma que opere en una zona muy reducida. Debido a lo anterior, la norma con mayor proyección y facilidad de acceso de los terminales por parte de los usuarios es DVB-H, que es la más difundida y la que mayor número de fabricantes posee en el mundo, además de ser la norma mas adoptada a nivel mundial para la difusión de TVDM a dispositivos móviles, incluyendo los teléfonos celulares como uno de sus fuertes.

De esta forma se definen y comparan los estándares más desarrollados hasta el momento para la transmisión de TVDM por medio de redes de difusión *broadcast*, con lo que es posible determinar las consideraciones técnicas más importantes a tener en cuenta para la convergencia de la TVD a teléfonos celulares.

## 2.8 ADAPTACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL AL ENTORNO COLOMBIANO

### 2.8.1 Estándar DVB-H

La diversidad geográfica del terreno en Colombia hace que el diseño de una red de radiodifusión de TVD orientada a teléfonos celulares deba considerar una configuración flexible de los parámetros de transmisión. DVB-H ofrece una solución óptima a las características geográficas del país ya que éste sistema provee un mayor número de esquemas de modulación, además de brindar uno de los más sofisticados mecanismos de protección de la señal ante errores producidos en el trayecto de propagación como lo es MPE-FEC. Sobre este mismo aspecto, un punto

adicional de esta norma, y que favorece en parte su escogencia en el país, es que la geografía del continente europeo, lugar de origen y desarrollo del estándar, es en gran medida similar a la de Colombia, por lo que sus parámetros técnicos en parte pueden ser configurados similarmente y no necesitan una modificación considerable para las características del país.

En Agosto de 2008 el gobierno colombiano encabezado por la CNTV eligió DVB-T como el estándar para la transmisión de TDT, lo cual disminuirá considerablemente los costos de implementación de la norma DVB-H si fuera acogida para difundir TVD a teléfonos celulares y en el caso de que se implementara una red compartida. DVB-H puede utilizar la capa física del sistema DVB-T, adicionando algunos elementos necesarios propios de redes móviles claro esta, por lo que puede hacer uso de su sistema de transporte basado en MPEG-2. Esta compatibilidad evita incurrir en costos de más equipos que suplan las necesidades del país. Sin embargo, de escogerse esta norma para Colombia es recomendable la implementación de una red dedicada DVB-H con el fin de aprovechar al máximo los recursos de este sistema, que permite además la reutilización de infraestructura como torres de televisión analógica para trasmisores principales DVB-H y torres de telefonía móvil para la ubicación de transmisores y/o repetidores, lo que en parte ayuda a disminuir los costos de implementación. Cabe anotar que los estándares de TVD para teléfonos celulares tomados en cuenta para este proyecto, incluido DVB-H, pueden operar de forma independiente al estándar base de TDT elegido en el país.

Las frecuencias utilizadas por el sistema DVB-H para teléfonos celulares *se* encuentran ubicadas en las bandas IV y V de UHF. Actualmente estas bandas se encuentran asignadas en Colombia para el servicio de televisión analógica radiodifundida, por lo que en el proceso de transición analógico a digital parte del espectro puede ser liberado, habilitando frecuencias y dándole operabilidad a este nuevo servicio, o en el peor de los casos esperar el apagón analógico para iniciar su funcionamiento. Otra opción para la disponibilidad de frecuencias para DVB-H es la banda L, lo que generaría el estudio de disponibilidad de esta frecuencia para su operación, ya que actualmente esta no se encuentra asignada para este tipo de servicios en el país. Adicionalmente, DVB-H puede ser configurado para trabajar en 6 MHz, lo que le favorece en gran medida para su elección puesto que este es el ancho de banda estipulado en Colombia para la prestación de televisión radiodifundida.

Otro punto a favor de esta tecnología es que permite difundir sus contenidos de forma gratuita, por lo que no es necesario establecer obligatoriamente un modelo de negocio con los operadores de telefonía móvil para que los usuarios puedan gozar del servicio, claro esta que si el usuario requiere de contenidos interactivos o de generarse la posibilidad de acceder al servicio bajo suscripción, además de la necesidad de coexistencia en un mismo terminal de las tecnologías de TVDM y de telefonía móvil, la norma también brinda la posibilidad de establecer varios modelos de negocio con operadores de telefonía móvil para tal fin. Con respecto a los dispositivos receptores, en este caso los teléfonos celulares, DVB-H es el sistema que más aliados y fabricantes internacionales de sus terminales posee, encontrando sucursales y mercado de la mayoría de estos en Colombia, lo que brindaría un soporte técnico a los usuarios a la hora de adquirir terminales que posean las dos tecnologías, además de ser un estándar que maneja técnicas en el terminal para evitar interferencias entre las frecuencias de trabajo de las dos tecnologías, como la adición de filtros. Adicionalmente, la mayoría de empresas que producen terminales DVB-H también dominan el mercado de dispositivos de telefonía móvil en Colombia, facilitando la implementación de modelos de negocio entre estas dos tecnologías para ofrecer diversos servicios.

Se puede ver entonces que la adaptación de DVB-H al entorno colombiano es muy alta y de la misma forma lo es la viabilidad técnica de su implementación en el país, ya que cumple en gran medida con las consideraciones técnicas planteadas para dicho entorno y suple las respectivas necesidades.

### 2.8.2 Estándar ISDB-T

ISDB-T 1-Segmento posee una modulación robusta y un muy buen nivel de campo, modulación que le brinda además la posibilidad de ser configurado de diferentes maneras dependiendo de los requerimientos planteados, lo cual es apto para las condiciones geográficas del territorio colombiano. La segmentación realizada sobre el canal le permite ofrecer buenas condiciones ante errores de transmisión, ya que las señales enviadas bajo este método son menos vulnerables ante las interferencias propias de los canales móviles. Además, el sistema cuenta con buenos métodos de corrección de errores en el dominio del tiempo, como el *time interleaver*, aptos para escenarios geográficos irregulares como los presentes en el país.

Las bandas de frecuencia utilizadas por el sistema son la IV y V de UHF con un canal de transmisión exclusivamente en 6 MHz, que le favorece en gran medida al ser el mismo ancho de banda utilizado en el país para la televisión radiodifundida, lo que hace necesario la liberación de estas frecuencias por parte de la televisión analógica para poder ser implementado en Colombia, ya sea en el proceso de transición hacia la tecnología digital o en su defecto en el momento del apagón analógico en el país. Este estándar puede reutilizar torres de televisión analógica y de telefonía celular para la instalación de transmisores y/o repetidores, por lo que el reuso de dichas torres puede disminuir los costos de implementación. ISDB-T 1-Segmento tiene la posibilidad de ser implementado para brindar contenido únicamente a teléfonos celulares, lo que se traduce en costos adicionales de nuevos sistemas de transmisión por parte del gobierno colombiano y las empresas que quieran brindar radiodifusión de televisión móvil con esta tecnología. La adopción de esta norma también tiene estipulado difundir el servicio de manera gratuita, lo que beneficia al país en el sentido de que los usuarios tienen la opción de acceder a los canales abiertos de TVDM sin necesidad de suscripción a un operador.

Entre sus desventajas se encuentra que los niveles de ahorro de batería en sus terminales no superan a los de otras normas, lo que aumenta la complejidad del dispositivo y por ende el costo del mismo, además de que la adquisición de dichos terminales es limitada pues sus fabricantes en general no poseen un mercado masivo a nivel mundial, creando también dispositivos compatibles en principio únicamente para las tecnologías de acceso de telefonía móvil en Japón. La ubicación geográfica de la mayoría de estas empresas se limita a este y algunos países asiáticos, lo que sujetaría a Colombia a importar exclusivamente tecnología de dichas empresas para acceder a los contenidos brindados por este estándar. Adicionalmente, la baja incursión de dispositivos de empresas asiáticas en Colombia retrasaría los acuerdos para establecer modelos de negocio entre las tecnologías de TVDM y las empresas de telefonía móvil del país con el fin de establecer plataformas de interactividad. Además, este estándar no maneja en gran medida el establecimiento de modelos de negocio con los operadores de telefonía móvil, por lo que en el momento que se requiera el complemento de los mismos puede causar inconvenientes y un retraso significativo para su funcionamiento conjunto.

Según lo planteado anteriormente se puede ver que ISDB-T se adapta en parte al entorno colombiano, y las probabilidades de que el estándar sea viable técnicamente para el país no son bajas, sin embargo la poca disponibilidad que éste sistema ofrece ante la convergencia de tecnologías de acceso móvil aplicables para Colombia en un mismo dispositivo y el poco manejo de modelos de negocio reduce significativamente sus puntos a favor, opacando el buen desempeño que su señal radiodifundida puede brindar.

### 2.8.3 Estándar T-DMB

El sistema Coreano ofrece, al igual que los demás estándares, radiodifusión de TVDM a grandes audiencias. Este sistema es muy robusto y capaz de ofrecer una muy buena calidad de contenidos debido a su variedad de configuraciones soportadas en el sistema DAB, lo que seria óptimo para el país en cuanto a la geografía se refiere. Debido a que Colombia ya escogió el estándar DVB-T para las trasmisiones de TDT, y teniendo en cuenta que el sistema T-DMB abarca la trasmisión tanto a dispositivos fijos como móviles, el implementar este estándar en el país

para brindar únicamente difusión a teléfonos celulares ocasionaría una perdida de recursos de este sistema con el consiguiente aumento en costos de implementación.

T-DMB trabaja en la banda III de VHF para ofrecer el servicio a terminales que requieren movilidad pero que poseen una antena con dimensiones superiores a las utilizadas por los teléfonos celulares, por ejemplo los dispositivos receptores en vehículos. Por otro lado, para ofrecer el servicio a dispositivos portátiles como el teléfono celular este estándar utiliza la banda L, lo cual requeriría un estudio de la disponibilidad de esta banda por parte del país ya que la misma no se encuentra asignada para esta clase de servicio. Con respecto al ancho de banda en el que opera T-DMB, que es de 1.536 MHz, este es mucho menor al de 6 MHz dispuesto en Colombia para transmisiones de televisión radiodifundida, lo que en parte puede significar desperdicio en el ancho de banda asignado para esta tecnología, o por otro lado la reasignación o establecimiento del espectro y ancho de banda adecuados, incurriendo en aspectos regulatorios que pueden retrasar la implementación del sistema en el país. T-DMB esta en limitado en el número de canales que puede ofrecer debido al ancho de banda que maneja razón por la cual presenta un costo más elevado para la difusión del servicio y que económicamente puede no ser atractivo para los entes involucrados en la cadena de valor de esta tecnología en el país.

En territorio europeo, asiático é inclusive norteamericano, esta norma es una fuerte competencia para otros sistemas, este hecho radica en que estas regiones desde hace muchos años trabajan con el sistema DAB para difusión de radio digital. DAB es el estándar base del sistema T-DMB, que utiliza su sistema de multiplexación, modulación y la infraestructura física de transmisión. Esta razón, que para otros países es muy ventajosa, para países como Colombia no lo es tanto. El costo de implementación de la tecnología T-DMB para el país seria muy elevado ya que no se cuenta con una infraestructura DAB establecida. La compatibilidad y convergencia de este estándar para operar con tecnologías de acceso móvil en Colombia se establece únicamente con tecnologías 3G (WCDMA, UMTS), las cuales se han implementado recientemente en el país.

Gracias a las razones mencionadas anteriormente, se puede ver que la adaptación de T-DMB al entorno colombiano es baja y por ende la viabilidad técnica de ser implementado en el país, pues incurre en una variedad de aspectos técnicos para su implementación que a la larga resultan innecesarios para Colombia. Como ya se mencionó anteriormente, este estándar es altamente competente en cualquiera que sea el ambiente de operación, pero debido a que la infraestructura base del estándar, es decir DAB, no se encuentra implementada en el país, sería necesaria la compra por parte de Colombia de la totalidad de equipos e infraestructura, incrementando los costos de su implementación.

### 2.8.4 Estándar MediaFLO

MediaFlo es un estándar muy robusto que ofrece altas tasas de datos para sistemas móviles, además de disponer de esquemas de modulación adecuados para adaptarse a condiciones adversas ó variadas como las del territorio colombiano, a pesar de haber sido desarrollado en Estados Unidos, un país geográficamente no muy similar a Colombia. Su sistema de codificación y corrección de errores es muy eficiente, posee además uno de los codificadores mas modernos y eficaces como lo es el codificador turbo, y de ser elegido por el país este le brindaría alta solidez a la señal ante efectos de interferencias producidos en el trayecto de comunicación. Este sistema maneja frecuencias de operación en la banda V de UHF para difusión a teléfonos celulares, que se encuentra asignada actualmente en Colombia para la televisión analógica radiodifundida, por lo que durante el proceso de transición hacia la tecnología digital estas bandas serán liberadas progresivamente o totalmente en el momento del apagón analógico, habilitando así el funcionamiento de la tecnología.

MediaFlo tiene un adecuado diseño para operar con redes 3G, además de poseer el soporte técnico de una de las principales compañías estadounidenses de telecomunicaciones como lo es Qualcomm, empresa que con su alto desarrollo tecnológico puede permitir acuerdos técnicos de convergencia, que junto con lo primero posibilitan la

inclusión de las dos tecnologías en los teléfonos celulares. Por esto y debido a la gran influencia en el mercado colombiano por parte de empresas fabricantes de dispositivos de telefonía móvil y terminales MediaFlo de Estados Unidos, es posible una alta viabilidad de acuerdos conjuntos con empresas de telefonía móvil que operan en Colombia para que sus nuevos terminales incluyan las dos tecnologías, abriendo la posibilidad de crear modelos de negocio y generando plataformas de interactividad. Este estándar no tiene un sistema base de transmisión de TDT como todos los anteriores, opera dirigido exclusivamente a dispositivos móviles y le favorece reutilizar la infraestructura de torres de telefonía celular existentes en el país con el fin de ubicar transmisores y/o repetidores para una zona determinada, así como la reutilización de torres utilizadas actualmente para el servicio de televisión analógica, estas ultimas para la ubicación de transmisores principales. Una de sus desventajas es que fue diseñado para brindar sus servicios mediante suscripción previa al ser un estándar patentado y propietario, razón por la que al escoger este estándar en el país no se contaría con un sistema de TVDM abierta, donde los usuarios necesariamente deben incurrir en un gasto por suscripción al servicio, además de obstaculizar en parte la innovación en los servicios ofrecidos, elevando los costos y disminuyendo las posibilidades de elección de contenidos por parte de los usuarios.

Por la razones ya mencionadas, la adaptación de MediaFLO al entorno colombiano es alta y también lo es la viabilidad técnica para su implementación en Colombia, ya que técnicamente brinda solución a los requerimientos del país, y aunque la distribución de sus contenidos no es de tipo gratuito, esto se puede solucionar con buenas políticas regulatorias que establezcan limites en los costos de suscripción para acceder al servicio.

Teniendo en cuenta la adaptación de los diferentes estándares de TVDM al entorno colombiano se procede con la definición de los criterios técnicos para la implementación de esta tecnología en el país. A pesar de que dichos criterios juegan un papel importante en la determinación del estándar respectivo más apto para Colombia, existen algunas consideraciones adicionales a tener en cuenta para la implementación de esta tecnología en el país, consideraciones que ayudan en la determinación del mismo y que deben ser estudiadas en detalle. Dentro de éstas se puede encontrar la influencia socioeconómica, sociocultural y regulatoria que la tecnología puede tener sobre la sociedad colombiana, además de la necesidad de contar con un cronograma en el que se expongan los pasos a seguir para la inclusión de la TVDM en el país, un posible sistema híbrido terrestre-satelital para mejorar la cobertura del servicio, entre otros. Para mayor información acerca de estas consideraciones remitirse al anexo F.

# 3. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA CONVERGENCIA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL A TELÉFONOS CELULARES

En este capítulo se realiza la descripción de las consideraciones técnicas generales más importantes a tener en cuenta para la convergencia de la TVD al teléfono celular. En principio se presenta la descripción del esquema de transmisión al igual que el esquema de recepción en el teléfono celular, además de su convergencia en un mismo terminal con las tecnologías de acceso a telefonía móvil. Adicionalmente, se define el complemento entre la red de difusión de TVDM y la red celular a partir del análisis de la compatibilidad entre la TVD y la telefonía móvil para determinar la relación existente entre los dos tipos de redes, que posibilita en gran medida el establecimiento de modelos de negocio para la prestación de diversos servicios al establecer un sistema conjunto. Dichas consideraciones se establecen después del estudio de las respectivas normas y guías de implementación de los diferentes estándares desarrollados para la difusión de TVDM hacia este tipo de terminales.

Es importante tener en cuenta ciertas generalidades de la TVD para ubicarse un poco más en la tecnología como tal, razón por la cual es posible remitirse al anexo E para obtener dicha información.

## 3.1 ESQUEMA TÉCNICO DE TRANSMISIÓN EN UN SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES

La figura 21 es de gran utilidad para describir el esquema técnico de transmisión de TVDM hacia teléfonos celulares.

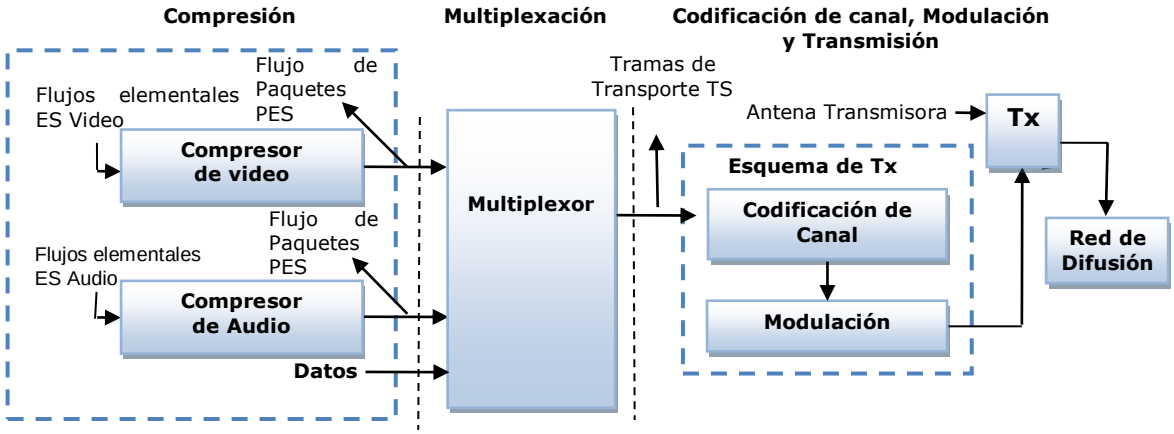



**Figura 21. Esquema Técnico de un Sistema de Transmisión para Televisión Digital Móvil [29]**

A continuación se exponen los diferentes módulos que conforman el esquema técnico de transmisión en TVDM para teléfonos celulares.

### 3.1.1 Compresión y Codificación de las Fuentes de Audio y Video

Tal como se ve el la figura 21, el proceso inicia con las entrada de las señales elementales ES (Elementary Stream) de video y audio al respectivo codificador. La codificación de estas señales en los diversos estándares de TVDM se realiza de forma independiente, y debido a sus características y a las condiciones de la transmisión, sus codificadores deben optimizar su desempeño. Una de las mayores ventajas de estas fuentes al ser digitalizadas es que no son susceptibles a degradaciones de calidad, pueden ser editadas integrándolas con audio, texto y gráficos. [17] [20]

La codificación de las señales de audio y video nace con el objetivo de transmitir las señales comprimidas directamente sin utilizar grandes anchos de banda, garantizando mayor flexibilidad de los sistemas y mayor número de canales digitales a transmitir. La elección del módulo de codificación y compresión de fuentes es muy importante ya que determina un balance entre la calidad de video y la cantidad de datos necesarios para enviar la información al igual que el ancho de banda (menor) requerido, además de ofrecer robustez ante las pérdidas de datos y compensación ante retrasos de transmisión.

La calidad del video digital se basa en tres factores, como son la tasa de trama que es el número de imágenes mostradas por segundo y que provoca la percepción de movimiento, la profundidad del color que es el número de bits por píxel para la representación de la información (por ejemplo 24 bits se pueden representar en 16'777.216 colores 256x256x256), la resolución de trama que es la dimensión del *display* medido en píxeles, representado por el número de píxeles horizontales y el número de píxeles verticales. Los datos de video ocupan altos niveles de ancho de banda, por lo que su codificador debe requerir de alta eficiencia de compresión, soporte de mecanismos de corrección de errores, como técnicas de resincronización codificador-decodificador ante pérdidas de bits, flexibilidad de adaptación a tasas de bits variables, y baja ó continua complejidad de operación para disminuir el consumo de energía. Los estándares de compresión y codificación de video que ofrecen una mayor eficiencia y cumplimiento de los parámetros anteriormente mencionados son el MPEG-4 del grupo MPEG (Moving Picture Experts Group) y el VC-1[10] de la SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) (WMV9), donde el MPEG-4 con su perfil 10 es el más difundido y escogido por al mayoría de normas de TDVM. [17] [20]

El estándar MPEG-4 definido por el grupo MPEG, es un estándar usado principalmente para comprimir audio y datos visuales, y su uso varía desde el envío de video streaming, distribuciones de CD y videoconferencias hasta televisión *broadcast*. MPEG-4 soporta muchas de las características de MPEG-1 y MPEG-2 (utilizado para distribución *broadcast* de tipo fijo) y otros estándares relacionados, añadiendo nuevas consideraciones como el Lenguaje Modelado de Realidad Virtual (VRML, Virtual Reality Modeling Languaje), composición de archivos orientados a objetos (incluyendo audio, video y datos) y soporte de variados tipos de interactividad. MPEG-4 se subdivide en una serie de especificaciones donde las más utilizadas por los estándares de TVDM son el MPEG-4 Parte-2 ISO/IEC 14496-2 (para video), MPEG-4 Parte-3 ISO/IEC14496-3 (para audio) y el MPEG-4 Parte 10. MPEG-4 Parte-10 H.264 AVC - ISO/IEC 14496-10 (para video). [17] [20]

MPEG-4 Parte 2 cubre varios rangos de aplicaciones desde la baja calidad, baja resolución, cámaras de vigilancia para alta definición, radiodifusiones de televisión y DVD. Su Perfil Simple (SP, Simple Profile) es el más indicado para el uso en situaciones donde la baja tasa de bits y baja resolución son impuestas por factores externos, como enlaces con bajo ancho de banda dirigidos a dispositivos que trabajan con bajos niveles de potencia como teléfonos celulares, sistemas de videoconferencias y sistemas de vigilancia. [17] [20]

MPEG-4 Parte 10 AVC(Advanced Video Coding)/H.264, es un estándar codificador de video digital que tiene como objetivo proveer flexibilidad a una variedad de aplicaciones (tanto para bajas y altas tasas de bits y para bajas y altas resoluciones de video) además de ser lo suficientemente efectivo para una amplia variedad de redes y sistemas como radiodifusión. Realiza la codificación de video con tres veces menos bits que los codificadores anteriores, además es doblemente eficiente que el MPEG-4 Parte 2. Esta tecnología logra una alta compresión de datos sin incrementar la complejidad de su diseño ni de su implementación sin un aumento considerable de costos. H.264/AVC es un mecanismo híbrido de predicción espacio temporal, en conjunto con un código compuesto por transformadas de Fourier que soporta la codificación de video en formato de croma 4:2:0, que contiene tramas entrelazadas progresivas, que pueden ser mezcladas en la misma secuencia. Generalmente, una trama de video

[10] Primer estándar de video desarrollado bajo la tutela de la SMPTE y Microsoft. Es la estandarización del *codec* de audio WMV. Inicialmente enviaba video por Internet y se modifico para ser usado en cualquier red.

contiene dos campos de entrelazado, el campo alto y el campo bajo. Estos dos campos de tramas entrelazadas pueden ser codificadas por separado como dos campos de imágenes o juntas como una trama de imagen. Una trama progresiva podría ser siempre codificada como una trama de imagen simple. El estándar H.264/AVC especifica la capa de codificación de video con representaciones eficientes de contenido de video y una capa de abstracción de red, cuyas representaciones de formatos proveen información de cabecera de forma apropiada para el transporte particular de capas ó medios de almacenamiento. [17] [20]

Dentro de las principales características de innovación presentes en el estándar MPEG-4 H.264 se encuentran, la predicción interna y mejorada en la estimación de movimiento, transformadas de Fourier mejoradas y predicción espacial interna, mejoras de los algoritmos de codificación, técnicas ante errores de transmisión y implementación de imágenes SI y SP. [17] [20]

Con respecto a los parámetros que deben conformar un codificador de audio para señales de TVDM se encuentran la reproducción optima y consistente de escucha en diferentes ambientes, alta eficiencia y calidad de sonido con bajas tasas de bits, reproducción mono, estéreo ó *multicast*, alto desempeño con anchos de banda restringidos, enmascaramiento psicoacústico de la señal, compatibilidad con otros sistemas de audio y alto nivel de procesamiento con bajos niveles de consumo de batería. Los estándares de codificación de audio más utilizados a nivel mundial son el AC-3[11] desarrollado por Dolby y el estándar MPEG-4 AAC Parte 3, este último mediante sus bifurcaciones técnicas como MPEG-4 HE-AAC, AAC-SSC y AAC-BSAC, son los más recomendados y usados por los sistema de TVDM para la codificación de señales de audio en radiodifusiones orientadas a dispositivos móviles. [17] [20]

El MPEG-4 AAC Parte 3 es un estándar que permite la codificación de audio en versiones mono, estéreo o multicanal, con hasta 48 pistas está optimizado para aplicaciones con fuertes restricciones de ancho de banda, que lo hace ideal para operar con sistemas que ofrezcan movilidad. La evolución técnica de HE-AAC es la norma de codificación de audio más usada, que utiliza tasas binarias de hasta 160 Kbps. [17] [20]

La paquetización de los flujos ES en el codificador se realiza tomando porciones ordenadas de la secuencia y de una capacidad determinada. Cada paquete que se extrae de la secuencia se identifica con una cabecera (8 bytes) que lleva la información de esa porción y de esta forma se constituyen los paquetes PES (Packet Elementary Stream) tal como se ve en la figura 26. Este paquete puede tener una longitud variable y en si constituye la paquetización de los flujos elementales ó fuentes tanto de video y audio que ingresan al sistema. Estos paquetes PES ingresan posteriormente al multiplexor. [17] [20]

### 3.1.2 Multiplexación MPEG-2

El sistema MPEG-2 recomendación ISO/IEC 13818.1 es el estándar utilizado para la multiplexación de los datos comprimidos y codificados de video y audio. Este sistema direcciona estos flujos al igual que otros datos en una sola trama múltiple MPEG que esta dispuesta tanto para transmisión como para almacenamiento. Este sistema esta diseñado con el fin de optimizar el transporte de diferentes tipos de programas y se guía bajo dos características importantes que son la trama de transporte y la trama del programa. [17] [22]

La trama del programa multiplexa los PES (video, audio y datos), que son empaquetados generando paquetes PES de tamaño fijo ó variable superiores a 65.536 bytes por bloque, que incluyen 6 bytes de cabecera. La información en el PES es independiente del modo de trasmisión usado (2K, 4K y 8K), obteniendo el flujo del programa (PS, Program Stream). Cada PS tiene una cabecera de información y una carga útil, y cada uno de estos paquetes tiene una gran

[11] Desarrollado por los laboratorios Dolby, reconocido por algunos de los estándares de TVDM, su codec dispone de capacidad para aplicaciones mono, estéreo con tasa binarias entre 128 Kbps.

longitud o capacidad de datos. El orden en el que se conforma el PS es aleatorio y esta programado en el multiplexor. La combinación de dos PS multiplexados conforman el flujo de transporte (TS, Transport Stream) que es el resultado de la multiplexación. [17] [22]

El TS esta formado entonces por paquetes MPEG-2 (4 bytes de cabecera y 184 bytes de carga útil). La trama de transporte TS puede ser usada para aplicaciones como radiodifusión digital y radiodifusión multimedia. MPEG-2 define un protocolo de orientación, multiplexación de múltiples programas MPEG comprimidos y direccionamiento de programas de información en paquetes para transmisión de longitud fija en redes digitales. Un TS puede corresponder a un solo programa de televisión que contenga video y audio, conocido como un programa simple de flujo de transporte (SPTS, Single Program Transport Stream), que son combinados para transporte de múltiples tramas de programas (MPTS, Multiple Program Transport Stream). El protocolo de transporte también provee características para la mezcla de radiodifusión y técnicas de encriptación de transmisión. La adopción de MPEG-2 TS provee a los radiodifusores múltiples tramas de video, audio y datos en una sola trama de transporte. Este sistema esta diseñado para ser usado en ambientes donde los errores de transmisión son comunes. También incluye una sofisticada distribución, sincronización y mecanismos de corrección de *jitter* que son esénciales para la transmisión de señales de video sobre grandes distancias. [17] [20]

### 3.1.3 Codificación del Canal

Debido a que los entornos móviles reúnen una serie de efectos que degradan la señal, es necesario proveer de mayor robustez a la señal recibida, además de flexibilidad y escalabilidad para el servicio a distintas velocidades y/o en ambientes con ruido. Esta consideración es solventada ampliamente por la modulación y el soporte que esta tenga de las técnicas de corrección de errores.

La recepción en condiciones de movilidad y la propagación por multitrayecto están íntimamente ligadas a las propiedades y codificación del canal, ya que involucra sus propiedades en el dominio de la frecuencia (desvanecimiento en frecuencia) y las propiedades en el dominio del tiempo (ligada a la recepción móvil). Las técnicas de codificación del canal deben garantizar altos niveles de eficiencia espectral, parámetro fundamental en el diseño de redes de TVDM. Una señal con un alto nivel de eficiencia espectral es una señal robusta que permite establecer un equilibrio entre su capacidad (velocidad binaria útil) y la resistencia al ruido (impulsivo, industrial, entre otros), al multitrayecto y al efecto Doppler. Es aquí donde la aplicación y la calidad de un determinado código de corrección de errores puede hacer la diferencia de un estándar de TVDM a otro. [17]

El control de errores o codificación de canal realizado por los diferentes sistemas de TVDM ofrecen variadas técnicas que a su vez ayudan a mitigar los errores producidos en el trayecto de propagación y sean invisibles ante el usuario. El diseño de un sistema de codificación de errores consiste en la selección de una adecuada tasa de código con una efectiva capacidad de corrección de errores que coincida con las exigencias de todos los datos que se deben transmitir, adaptado a la medida del canal y considerando las peores condiciones de trasmisión. Sin embargo, debido a las diferentes necesidades de los datos, los mecanismos suelen combinar diversos códigos haciendo al sistema más robusto. Aunque en la actualidad existen diversos mecanismos de codificación que garantizan la fiabilidad de las transmisiones, mecanismos como FEC (Forward Error Correction), ARQ/FEC (Automatic Repeat Request-FEC) y MPE-FEC son las técnicas más importantes para la realización del control de errores en estos sistemas. [17]

Dentro de los códigos correctores de errores utilizados por los sistemas ya mencionados se encuentra el código RS (Reed Solomon) configurado con parámetros de (255,191) para DVB-H, (204,188) para ISDB-T 1-segmento al igual que para T-DMB y (16, 12) para Media FLO. También es muy utilizado el código convolucional Viterbi con tasas de codificación de 1/2 y 2/3 principalmente. El código Turbo utilizado por el sistema MediaFLO que hace uso de una concatenación paralela de dos códigos convolucionales es una técnica muy efectiva y es una de las más recientes. Por ultimo, también son muy comunes las técnicas de entrelazado de tiempo como el *time interleaver*. [17]

Otra situación frecuente de propagación de multitrayectoria es la recepción en ambientes interiores en condiciones sin línea de vista provocando entre otras, interferencias de tipo Doppler, en las cuales las reflexiones en paredes interiores cercanas generan desvanecimientos de área local debilitando la señal ó incluso desapareciéndola, por lo que es necesario el establecimiento de técnicas confiables de sincronización que junto a las técnicas de corrección de errores permiten la retransmisión de los datos al receptor.

### 3.1.4 Esquema de Transmisión OFDM

El esquema de transmisión OFDM (Coded Orthogonal Frecuency Division Multiplex) de múltiples portadoras es un sistema muy reconocido y escogido por todos los estándares de TVDM analizados en este documento debido a su gran robustez ante interferencias intersimbólicas y distorsiones de multitrayecto, baja complejidad de implementación y alta eficiencia espectral. OFDM es un esquema de transmisión multicanal que divide un ancho de banda inalámbrico en un número paralelo de subportadoras o símbolos. [17] [20] [29]

En este esquema de transmisión, el espectro de canal es particionado en el dominio del tiempo y de la frecuencia, de esta forma, el canal de transmisión es particionado en ambos dominios. El dominio de la frecuencia se lo divide en subbandas angostas, mientras que en el dominio del tiempo se lo divide en segmentos de tiempo. Posteriormente, cada subbanda de frecuencia se la equipa con una portadora, que es modulada con unos pocos bits de datos durante el segmento de tiempo. Cada set de portadoras constituye un símbolo, cada set contiene un número determinado de portadoras y este número depende del modo de transmisión elegido, ya sea 2K (1.705), 4K (3.409) y 8K (6.817), donde todos los símbolos de un set contienen el mismo número de portadoras. [17] [20] [29]

Con el objetivo de evitar inconvenientes ocasionados por las reflexiones multitrayecto, a cada símbolo se le adiciona un intervalo de guarda delante del mismo. Por esto cada símbolo queda protegido con un intervalo de tiempo delante y otro detrás del símbolo. Estos intervalos de guarda pueden tener cuatro tiempos diferentes, donde cada uno de ellos es una proporción de la duración del símbolo. Estos pueden ser 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32, donde 1/8 es el intervalo de guarda más usado para transmisiones de TVDM proporcionándole a la señal alta protección ante interferencias tal como lo muestra la figura 22. [17] [20] [29]

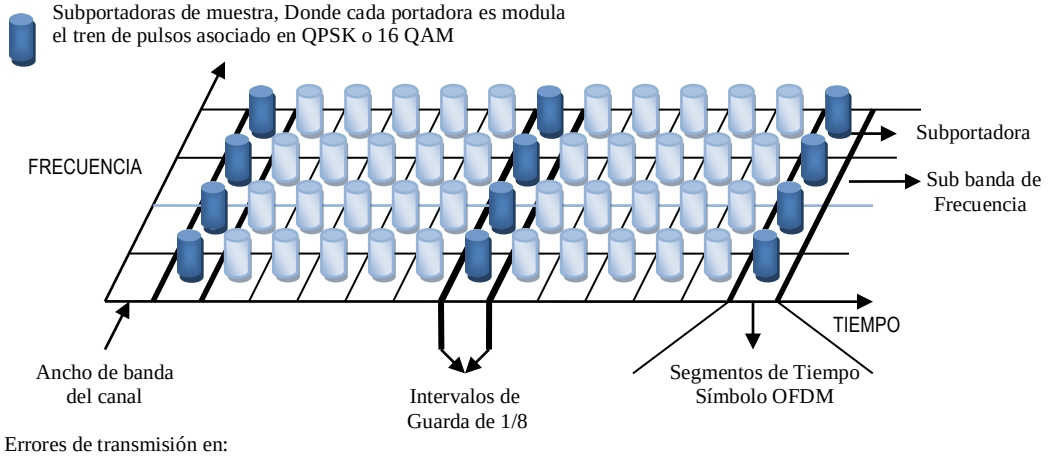



**Figura 22. Esquema de Transmisión OFDM con Modulación de Subportadoras [29]**

En el esquema de transmisión OFDM para TVDM, cada una de las miles de portadoras es modulada por el tren de datos QPSK o 16QAM, donde la modulación elegida dependerá de la robustez y el tipo de servicio que requiera el sistema.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) es una modulación digital por desplazamiento de fase, conformado por dos moduladores balanceados. Su característica principal es que una sola frecuencia de la portadora produce cuatro fases distintas de salida, donde cada una de estas tiene una amplitud constante. Por cada dos bits que entran al modulador, se producen cuatro estados posibles. A cada uno de estos estados le corresponde una rotación, por lo que cada dos bits de datos modulan la portadora. Esta modulación ofrece mayor robustez al sistema a costa de una baja velocidad (menos capacidad). QAM (Quadrature Amplitude Modulation) es otro tipo de modulación digital y a diferencia de la modulación QPSK con la cual por cada dos bits de entrada se produce una rotación de fase a la salida, para 16QAM por cada cuatro bits de entrada se produce un cambio de magnitud y de fase a la salida. La información digital resultante está contenida tanto en magnitud y fase de la portadora transmitida. Esta modulación ofrece menor robustez al sistema a una mayor velocidad (más capacidad). [17] [20] [29]

## 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL CANAL DE TRANSMISIÓN

El canal de radio utilizado para la transmisión de las señales de TVDM se caracteriza por presentar pérdidas de trayecto o esparcimiento del retardo por multitrayecto, desvanecimiento, efecto *Doppler* y efectos de interferencia de canal adyacente y cocanal. En cuanto a las pérdidas de trayecto se consideran dos tipos que son, el ambiente suburbano y el ambiente urbano. Las características del canal de trasmisión de describen a continuación.

### 3.2.1 Frecuencias de Trabajo para el Servicio Televisión Digital Móvil

Teniendo en cuenta la distribución de frecuencias en el espectro radioeléctrico para la radiodifusión del servicio de televisión hecha por la UIT, los diferentes estándares de TVDM definen la utilización de dicho espectro según sus características y especificaciones. A continuación se pueden ver los rangos de frecuencias más utilizados.

#### 3.2.1.1 Bandas IV Y V de UHF

El rango de trabajo óptimo de la TVDM para teléfonos celulares dentro de éstas bandas esta comprendido entre 470 y 862 MHz. Estas bandas presentan una buena cobertura, propagación y penetración en edificaciones y la recepción de la señal es posible en antenas pequeñas como las de los teléfonos celulares. El problema que presentan estas bandas es que se encuentran bastante congestionadas por los diferentes radiodifusores que prestan el servicio de televisión analógica y el servicio de TDT simultáneamente, lo cual puede tardar varios años mientras se presenta el apagón analógico en cada país, que generará la liberación de gran parte del espectro radioeléctrico que posteriormente podrá ser utilizado para la prestación de servicios como la TVDM. Estas bandas son ideales para cualquier servicio inalámbrico, ya que son lo suficientemente bajas para propagarse a largas distancias y aumentar así la cobertura, y son lo suficientemente altas para evitar interferencias por ruidos generados por actividades inherentes al hombre. [17]

#### 3.2.1.2 Banda L

Esta banda es tenida en cuenta como solución de reserva, que en principio es utilizada para la difusión de radio digital y que no está estipulada para la difusión de televisión pero ha sido adaptada por algunos estándares para la difusión de TVDM. Corresponde a las frecuencias entre 1452 MHz y 1492 MHz y al trabajar a altas frecuencias presenta pérdidas considerables por propagación, lo que representa desventajas al operar en dicho espectro. La ventaja que presenta es que esta parte del espectro radioeléctrico ya esta reservada en ciertos países para la

difusión de radio digital y existen estándares para TVDM que se adaptan a este tipo de servicio. De esta forma dichos estándares ya tienen garantizado el espectro a utilizar para la difusión del servicio de TVD a dispositivos móviles, especialmente a teléfonos celulares. [17]

Conociendo la distribución de frecuencias a utilizar para la prestación del servicio de TVDM, se hace necesario saber cuál es el ancho de banda que esta tecnología utiliza para la transmisión de la señal, tal como se describe a continuación.

### 3.2.2 Ancho de Banda para Televisión Digital Móvil en Teléfonos Celulares

Dependiendo de las características y especificaciones de los diferentes estándares de TVDM, estos determinan el ancho de banda a utilizar para transmitir la señal. Adicionalmente, al existir estándares que son adaptaciones de otros que han sido creados para diferentes tipos de transmisión como el terrestre, acogen el ancho de banda utilizado por los estándares en los que se basan. De esta forma los anchos de banda utilizados para la difusión de TVDM se encuentran entre 5 MHz y 8 MHz, siendo más utilizado el de 6 MHz. Este servicio está catalogado como un servicio de banda ancha, característica que le permite contar con una alta capacidad, una buena eficiencia espectral y robustez ante posibles interferencias. [17]

### 3.2.3 Multitrayecto y Retardo de la Señal de Televisión Digital Móvil para Teléfonos Celulares

El multitrayecto hace referencia a los diferentes trayectos por los que pasa la señal original antes de llegar al receptor, debido a fenómenos de propagación como la reflexión, entre otros, producidos después de que la señal es transmitida. Estos fenómenos hacen que el terminal reciba varias copias de la señal original con diferente fase y amplitud, que afecta la relación señal a ruido del sistema y que se traduce en la interferencia destructiva producida por dichas copias. Para la corrección de este efecto el sistema debe contar con técnicas para identificar aquellas señales que llegan desfasadas y con diferente amplitud, y en general las provenientes de diferentes trayectos para que en el terminal puedan ser sumadas constructivamente con la señal principal. De esta forma se garantiza un nivel de potencia recibida mayor y se evita la degradación de la señal original. [17] [20]

Por ejemplo, a la entrada de los repetidores del sistema se presentan ecos de la señal transmitida provenientes de las reflexiones presentadas en diferentes objetos a lo largo del escenario de prestación del servicio. En dichos repetidores se deben manejar técnicas como la unidad canceladora, capaz de suprimir en lo posible los diferentes ecos, y la ventana de cancelación de ecos, que hace referencia a un intervalo temporal durante el cual la unidad canceladora aplica la cancelación de los ecos sobre la señal de entrada. La ventana canceladora debe ser de un tiempo elevado para poder cancelar los ecos más relevantes, pues los ecos que no sean cancelados se realimentan cada vez mas y pueden llevar a oscilar al repetidor, aunque este tiempo elevado puede aumentar el retardo introducido por el repetidor debido a que se incrementa el número de réplicas que el repetidor esta en capacidad de procesar. En promedio el tiempo que se utiliza para la ventana canceladora esta en 10 microsegundos. Adicionalmente, el repetidor recibe retardos de diferentes emisores de la red que pueden ser mayores al valor establecido para la ventana canceladora, razón por la cual es necesario que el repetidor cuente con una antena receptora muy directiva. Por otro lado, el repetidor además de introducir un retardo en la señal por motivo del proceso de cancelación de ecos, que en promedio es de 6 microsegundos, introduce también un retardo debido al filtrado de la señal, que es proporcional a la selectividad del mismo, y en general un retardo debido a que tiene que recibir la señal y retransmitirla. [20] [29]

A manera de ejemplo, las redes SFN manejan intervalos de guarda de hasta 224 microsegundos, mucho mayores al tiempo de retardo introducido por el cancelador de ecos, intervalo que hace referencia al tiempo tolerable por el sistema ante retardos en la señal. La inserción de dicho intervalo por parte de este tipo de redes es utilizada como referencia para determinar si las señales llegan dentro del intervalo o si están por encima de este. Aquellas señales

que se reciben dentro del intervalo de guarda contribuyen positivamente a la señal útil, proporcionando una ganancia de diversidad necesaria para el mejoramiento de la cobertura en entornos urbanos. Por su parte, las señales que en recepción están por encima del intervalo de guarda contribuyen a interferencias, lo que degrada la señal útil. Además, las señales que se encuentran ligeramente por encima del intervalo contribuyen tanto a la señal útil como a la señal interferente, y tras la suma sucesiva de las mismas se llega al punto donde todas las señales se consideran como interferencias. Por las razones expuestas anteriormente el sistema debe utilizar técnicas de ponderación en recepción para determinar como las señales recibidas contribuyen positiva o negativamente a la señal útil, dependiendo de su tiempo de llegada. [17] [20] [29]

## 3.3 ESQUEMA TÉCNICO DEL SISTEMA DE RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES

En la red de TVDM los transmisores proporcionan una señal con buenos niveles de calidad. Sin embargo, los receptores móviles deben ser capaces de decodificar dicha señal aun en condiciones adversas, brindándole excelentes niveles de calidad y cumpliendo con las expectativas de los usuarios.

Los terminales de TVDM en comparación con los receptores de TVD fija poseen grandes diferencias, como mecanismos de ahorro de batería, métodos de sincronización de la señal y *handover*, pantallas con resoluciones de imagen más pequeñas, decodificadores y demoduladores configurados con parámetros y bajo normas que le ofrecen a la señal mayor flexibilidad ante interferencias y mayor robustez para brindar altas tasas de transmisión en amplias zonas de cobertura. Es por esto que los parámetros de configuración y diseño de terminales móviles se acercan más a los requeridos para la creación de los ya conocidos celulares de telefonía móvil. [17] [22]

La variedad de estándares, su alto grado de tecnología y fuerte competencia para entrar en un determinado país, como lo es el caso de Colombia, presionan no solo a los proveedores de servicio, si no también a las empresas fabricantes de terminales móviles.

Los dispositivos móviles son la combinación de hardware y software, los cuales pueden ser muy complejos y algunos pueden soportar uno ó más de un estándar de televisión digital móvil. En el mercado existen tres categorías generales de dispositivos con los cuales se puede acceder a la señal de televisión digital de manera inalámbrica y en condiciones de movimiento, a continuación se mencionarán las principales características de cada uno de ellos, sin embargo es de mencionar que cumpliendo con el objetivo de este documento, se realizará una descripción más precisa de los dispositivos Handheld cuyas características además de brindar el acceso a televisión digital móvil permiten la convergencia en un mismo dispositivo con los servicios de telefonía celular. [17] [22]

- **Dispositivos en Vehículo:** Dentro de este grupo se encuentran los dispositivos móviles incluidos en automóviles, autobuses, trenes, taxis, entre otros, dispositivos con pantallas de rangos de entre 2.8 y 17 pulgadas, con recepción de señales con resoluciones SDTV ó HDTV. Los parámetros de configuración en la transmisión de la señal que accede a este tipo de dispositivos es menos estricta en comparación con la señal de televisan digital de los dispositivos handheld, además dispone de un espectro de frecuencias mas amplio, ya que su operación puede brindarse con VHF, UHF ó banda L. [54]

- **Dispositivos Portátiles:** Hace referencia a dispositivos que no son de tamaño reducido pero tienen la posibilidad de desplazarse, su principal característica es que su fuente de batería puede brindar mucho más tiempo de operación, además sus parámetros de diseño en comparación con los dispositivos celulares pueden abarcar otras consideraciones. Dentro de este grupo se tienen como ejemplo televisores portátiles, Dispositivos de Video Digital (DVD, Digital Video Device) y computadores portátiles, laptops. Su frecuencia de operación se encuentra en la bandas VHF, UHF y L. [54]

- **Dispositivos *Handheld:*** Se refiere a dispositivos móviles de mano (*handheld*, en ingles) alimentados con baterías, que se han posicionado dentro del mercado de las telecomunicaciones por la facilidad de portabilidad, desplazamiento y soporte de servicios de última generación. Los dispositivos más representativos que conforman este tipo de receptores son los teléfonos celulares y las PDAs. [54]

El grupo de interés para este Trabajo de Grado es el de dispositivos *handheld*, que cuentan con características especiales y que deben ser tenidas en cuenta para la convergencia del servicio de TVDM hacia este tipo de terminales, principalmente el teléfono celular, que hace referencia al dispositivo receptor que está en capacidad de recibir las señales tanto de la red *broadcast* como de la red celular. Estos dispositivos cuentan con características técnicas particulares, como antenas de tamaño reducido (aprox. 40x5x5 mm) y de poca ganancia (aprox. -10 dBi) para recepción de TVDM. Hay que tener en cuenta que el tamaño de la antena se encuentra estrechamente relacionado con las frecuencias de trabajo (mencionadas en el ítem 3.2.1) y la longitud de onda, donde a mayor frecuencia menor es el valor de la longitud de onda y por ende menor es el tamaño de la antena. Además, cuentan con un *chip* receptor de gran capacidad y procesado interno, que soporta tanto el estándar de difusión *broadcast* como la respectiva tecnología de acceso a telefonía móvil y que se integra fácilmente en el dispositivo receptor. En términos generales, debe garantizar su funcionamiento óptimo en cualquier red del mundo que soporte las tecnologías con las que trabaja. Adicionalmente, el terminal maneja técnicas para contrarrestar cualquier tipo de interferencia entre las frecuencias de trabajo de TVDM y telefonía móvil, como la adición de filtros que anteceden el receptor de TVDM. [17] [54]

### 3.3.1 Chip Receptor

Las pequeñas dimensiones de los dispositivos, el alto consumo de potencia con reducidos tamaños de batería y la alta calidad que se debe brindar en el servicio, ha hecho necesario el uso de tecnologías de sistemas en circuitos integrados (*chips*), este mercado de chips receptores han tenido una gran evolución, por lo que encontramos en la actualidad receptores de la mayoría de las normas de TVDM con arquitecturas BiCMOS en sus dispositivos. Estos sistemas integrados reducen el número de componentes externos que afectan tanto el costo como el tamaño del terminal. La tecnología de sistemas empaquetados ó SiP (System in a Package), ofrece una arquitectura compacta, ofreciendo altos niveles de integración incluyendo antenas de recepción, amplificadores de potencia, componentes pasivos y activos, componentes RF específicos. Es así como la señal RF que llega al receptor ingresa por la antena y posteriormente los datos digitales son visualizados en la pantalla del terminal. Las dimensiones que conforman el paquete SiP para TVDM son por lo general de 9x9 mm. Este *chip* receptor se constituye principalmente por tres bloques funcionales que son, el módulo de señal de entrada y sintonización, el módulo de demodulación/decodificación y el módulo de motor de aplicaciones. [17] [22]

La conformación del *chip* receptor y sus bloques funcionales se pueden apreciar en la figura 23.

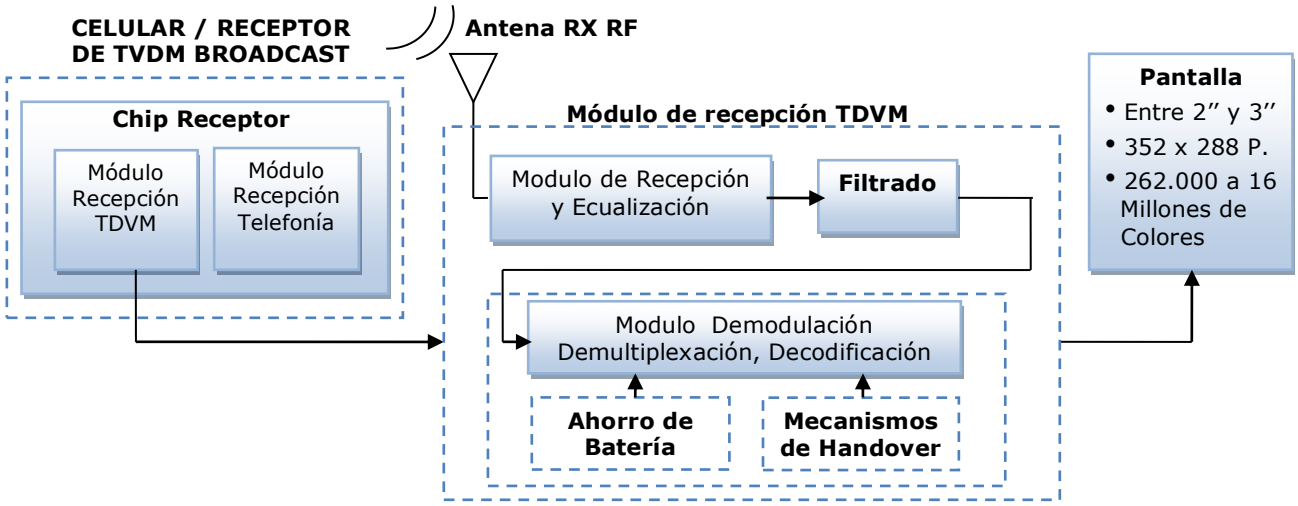



**Figura 23. Componentes Principales del Chip Receptor**

### 3.3.2 Modulo de Señal de Entrada y Sintonizador

#### 3.3.2.1 Antena receptora

El diseño de una antena de un receptor celular de TVDM es una consideración muy importante en la construcción del terminal. Además, si esta debe ser capas de recibir señales en la banda UHF, probablemente su fabricación debe coincidir con los parámetros de diseño del circuito receptor al cual se le han implementado el resto de funcionalidades. La resistencia que hace parte de la impedancia de la antena (resistencia de radiación), debe coincidir con la impedancia de salida del receptor y debe ser pequeña para que coincida con el pequeño tamaño de la antena (<1/10 λ), que no permite grandes pérdidas y baja eficiencia espectral. [17] [22]

Uno de los factores que pueden disminuir la capacidad de recepción de señales TVDM es la influencia de los usuarios en las características de radiación de la antena, ya que debido de la posición relativa del usuario ante el terminal celular el cuerpo humano actúa en algunos casos como un amortiguador ó reflector. La ganancia típica de la antena de recepción TVDM en la banda baja de UHF puede ser del orden de -10dBi, esta se puede incrementar a -5dBi llegando a la parte alta de esta banda. Se debe tomar en cuenta que el tamaño de la antena se encuentra estrechamente relacionado con las frecuencias de trabajo y la longitud de la onda. A mayor frecuencia menor es el valor de la longitud de onda y por ende menor es el tamaño de la antena. [17] [22]

#### 3.3.2.2 Sintonizador

La señal de entrada captada por la antena es una señal en la banda UHF o banda L que ingresa al módulo de ecualización el cual convierte la señal de bajada en banda base antes de ingresar al demodulador. El sintonizador tiene la ventaja de poder integrar y filtrar los canales adyacentes que pueden ser implementados en banda base formando una señal de frecuencia intermedia IF. Este concepto de sintonización o ZIF es también llamado conversión directa de bajada y consume aproximadamente 20 mW con una figura de ruido de 4 dB. Esta sintonización es implementada en circuitos integrados con tecnología BiCMOS para reducir al mínimo la frecuencia de operación para los filtros selectivos utilizados por el *chip*. [17] [22]

### 3.3.3 Módulo de Demodulación y Decodificación

En este módulo se resumen los procesos de demodulación, decodificación del canal, demultiplexación y decodificación de fuentes tanto de video como de audio. La señal de salida del sintonizador ingresa al demodulador el cual recupera los paquetes de la trama de transporte MPEG-2 recibidos por la señal RF. El canal de demodulación se basa en el esquema de transmisión OFDM, este opera con las técnicas que hayan sido utilizadas par el proceso de modulación como lo son los modos de transmisión 2K, 4K y 8K y los esquemas de transmisión QPSK ó 16QAM (para dispositivos celulares). Entre más alto haya sido el grado de modulación de la señal el sistema puede ser mas o menos sensible ante distorsiones e interferencias. Es así como basado en la información de demodulación y decodificación, el canal le provee al sistema de recepción parámetros de calidad del servicio. Estos parámetros pueden ser usados para implementar decisiones de *handover* ó ahorro de batería. [17] [22]

#### 3.3.3.1 Ahorro de batería

Esta consideración técnica es muy importante debido a que hace referencia a la duración de la batería de estos dispositivos en cuanto al tiempo promedio de uso se refiere, y por eso se busca que ésta se encuentre disponible el mayor tiempo posible. El objetivo es tratar de regular el consumo de energía en dichos receptores que es muy limitado al estar alimentados por baterías, a diferencia de los receptores fijos que se encuentran conectados a la red eléctrica o los terminales que cuentan con alimentación de la batería de vehículos. Por lo expuesto anteriormente los estándares de difusión del servicio de TVDM hacia teléfonos celulares se ven en la tarea de implementar métodos para cumplir con este objetivo, por ejemplo, el código entrelazador de tiempo (*time interleaver*, por sus siglas en ingles), el código entrelazador de frecuencia (*frecuency interleaver*, por sus siglas en ingles), el micro corte de tiempo (*micro time slicing*, por sus siglas en ingles) y el corte de tiempo (*time slicing*, por sus siglas en ingles) que además se presenta como el más robusto, métodos que siguen el mismo principio de lograr que la duración de la batería del teléfono celular sea la mayor posible. Se trata de técnicas de transmisión discontinua de la señal en ciertos instantes, donde dicha señal se transmite por medio de ráfagas de datos a altas velocidades. Durante el tiempo que transcurre entre una ráfaga y otra, es decir, el tiempo durante el cual el receptor no recibe información, este permanece inactivo lo que le permite tener un ahorro significativo de energía. El dispositivo se mantiene la mayor parte del tiempo en dicho estado, logrando un ahorro en la batería en algunos casos hasta del 90%, y finalmente pasa al estado activo en el momento que se requiere la recepción de la señal y que en promedio es el 40% del tiempo. A manera de ejemplo, el *time slicing* durante una décima de segundo envía los datos al receptor para reproducir el programa en el siguiente segundo. Con estas técnicas se alcanza un tiempo promedio entre 3 y 4 horas de duración para la batería del teléfono celular en recepción contínua de TVDM. [17]

#### 3.3.3.2 *Handover*

La arquitectura de una red de TVDM es similar a la de una red celular de telefonía móvil, que cuenta con celdas formadas por los respectivos transmisores y/o repetidores. La movilidad de los terminales, para este caso los teléfonos celulares, hace referencia al desplazamiento que estos dispositivos realizan constantemente dentro de la red a través de las celdas que conforman la misma, y es un factor a tener en cuenta debido a que la calidad de la señal no es la misma en todos los puntos de la red, es decir, existen lugares donde la señal es óptima y otros en los que no lo es tanto, razón por la que debe existir un método o técnica transparente al cliente para garantizar que este reciba la señal a cada instante y con una buena calidad, más aún para un servicio como la televisión. [17]

Como se mencionó anteriormente, a medida que el terminal se desplaza dentro o fuera de las celdas que conforman la red encuentra puntos donde la calidad de la señal se debilita, especialmente en la frontera de dichas celdas, y es posible que se pierda la información. Por esta razón el sistema debe estar en la capacidad de sobrellevar este factor, principalmente el teléfono celular que debe buscar las frecuencias más cercanas y determinar cual de ellas ofrece el nivel de potencia más alto para realizar un cambio a dicha frecuencia y continuar con la recepción del servicio sin

ninguna interrupción ni pérdida de información. El cambio de frecuencia que se puede presentar dentro o fuera de una celda y que en general hace referencia al traspaso que realiza el terminal dentro de la red, dependiendo de la necesidad, se conoce como *handover* y se define como la conmutación de un servicio en curso a un canal y/o celda diferente. [17]

En redes de telefonía móvil el *handover* se puede presentar por dos razones. En primer lugar, cuando la calidad de la señal y la potencia que recibe el terminal móvil se encuentran por debajo de un umbral establecido, y en segundo lugar, cuando la estación base de una celda se encuentra saturada y debe liberar recursos de la red. La segunda opción se lleva a cabo gracias a que la red de telefonía móvil es bidireccional y por ende puede determinar cuando un terminal puede ser atendido por otra estación, pero para redes de difusión *broadcast*, que son de la naturaleza unidireccional, el *handover* solo se puede llevar a cabo por parte del teléfono celular cuando el nivel de potencia de la señal es muy bajo. Las técnicas para el ahorro de batería utilizada por los terminales presentan periodos inactivos, periodos que utiliza el teléfono celular para llevar a cabo el traspaso de celda, haciendo un escaneo de las frecuencias en los momentos que el dispositivo no recibe ninguna ráfaga de información, es decir, los momentos en los que el terminal se encuentra en reposo o en periodo inactivo. Gracias a estas técnicas se optimiza el ahorro de energía en el terminal y adicionalmente se produce el *handover*, que en definitiva busca que el usuario reciba el servicio sin ninguna alteración ni cortes. [17]

En general, este aspecto es bastante importante y se debe tener muy en cuenta dentro de las redes de difusión *broadcast*, el cual hace referencia al manejo que se le da a los terminales cuando realizan un traspaso de frecuencia dentro o fuera de las celdas que dan cobertura en la red, para que estos sigan contando con el servicio, en otras palabras, realizar la transferencia del servicio de una celda a otra cuando la calidad del enlace no es buena o insuficiente, permitiendo de esta forma que el servicio se mantenga a medida que el dispositivo móvil se desplaza por una zona de cobertura. [17]

### 3.3.4 Modulo del Motor de Aplicaciones

En este módulo se encuentra incluido el *chip* receptor, que se compone de los módulos de recepción/ecualización y decodificador/demodulador. Este módulo es multiestándar y multiformato que soporta capacidades que son ejecutadas por el uso del video programable y motores de procesamiento de audio. [22]

### 3.3.5 Pantalla

El tamaño de la pantalla de los teléfonos móviles se encuentra entre 2 y 3 pulgadas (2", 3") y es un factor a tener en cuenta para la recepción de la TVDM debido a que la resolución de estos terminales suele ser mucho menor a la de un televisor tradicional, aunque la misma es bastante aceptable para sus dimensiones y la calidad de la imagen que puede reproducir, razón por la que la señal recibida debe ser adaptada a las características de la pantalla del terminal. Los teléfonos celulares que se encuentran en el mercado por parte de diferentes empresas (Nokia, Samsung, Motorola, entre otros), y que dentro de sus especificaciones esta la recepción de TVDM, manejan características técnicas similares y valores promedios como una resolución de 320x240 pixeles, un peso de 120 gramos, dimensiones de 105mm*50mm*20mm (largo, ancho, alto), soportan entre 262.000 y 16 millones de colores, entre otros. [29] [54]

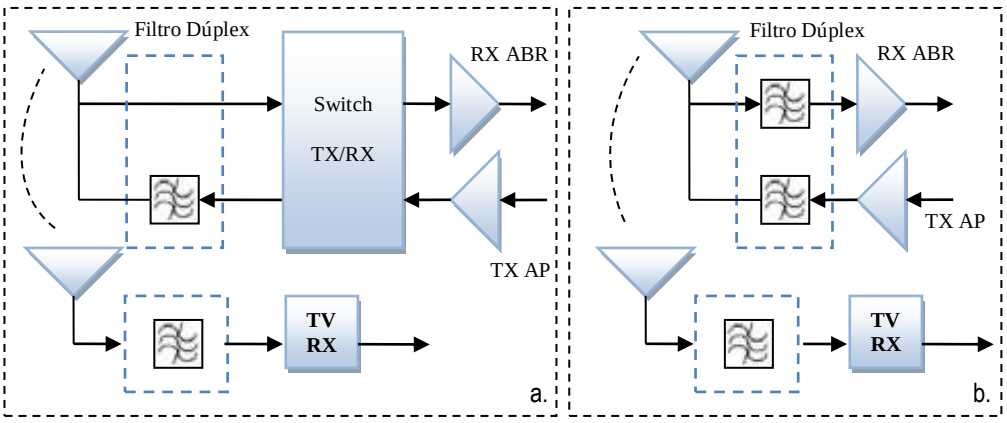
Los estándares para la difusión del servicio de TVDM transmiten la señal hacia los teléfonos celulares en definición SDTV debido a que es el que mejor se adapta a las características de estos terminales, que además manejan una relación de aspecto de 4:3. La definición para este formato es de 640 pixeles x 480 líneas, con entrelazamiento para recepción de calidad equivalente a la de los televisores analógicos (480i), dando como resultado una resolución de 480i x 480p. [20]

## 3.4 CONVERGENCIA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL Y LA TELEFONÍA MÓVIL EN EL TELÉFONO CELULAR

La implementación en un mismo dispositivo de las tecnologías de TVDM y telefonía móvil implica la convergencia de varias tecnologías tanto hardware como software y además implica grandes cambios de diseño del celular. La interoperabilidad por parte de la TDVM con la red celular y con tecnologías como 2.5G y/o 3G puede implicar operaciones independientes o simultáneas en el dispositivo. Se puede considerar entonces el uso de antenas independientes que el caso más común de uso. Sin embargo debido al avance tecnológico también se pueden considerar implementaciones con una sola antena con grados más altos de sensitividad. También las tecnologías de *chip* receptor SIP BiCMOS se usan para realizar integraciones de las dos tecnologías en un mismo integrado, con el fin de incrementar el ahorro de potencia en el terminal. [55]

Independiente de cual sea la tecnología con la cual la red de TVDM converja en el terminal, la transmisión de telefonía celular puede presentar serias interferencias con la señal recibida de TVDM, como señales espurias del amplificador de potencia ó ruido proveniente del trasmisor celular. Estas señales interferentes también se presentan por la señal celular de bajada ó por efectos de aislamiento que surgen desde la antena celular. Parte de la señal celular a transmitir es acoplada desde su antena a la antena receptora de la señal de TVDM, por lo que la utilización de filtros que aíslen estas señales son muy necesarios, ya que de no existir este filtraje el nivel de interferencia de la señal celular podría causar graves bloqueos en los dos mecanismos (desensitividad y modulación cruzada). Estos filtros se ubican por lo general al inicio de la recepción celular y antes de trasmitirse la misma señal. El dúplex y el *switch* Tx/Rx son los filtros más utilizados, pero su ubicación y operación esta limitada al tipo de tecnología celular que se utilice, ya sea 2.5G ó 3G. La figura 24 muestra la utilización de los filtros según la tecnología de acceso utilizada. [22]

ABR: Amplificador de Bajo Ruido, AP: Amplificador de Potencia




a. Convergencia de terminales TVDM y Telefonía móvil 2.5G

b. Convergencia de terminales TVDM y Telefonía móvil 3G

**Figura 24. Convergencia en Terminales que ofrecen TVDM y Telefonía Móvil. a. Para 2.5G b. Para 3G [17] [22]**

Si la convergencia se realiza con tecnologías 2.5G, se debe considerar que la principal banda de frecuencias utilizada para brindar TVDM es la UHF en los 470MHz a 862MHz, por lo que el sistema 2.5G tendría serios inconvenientes debido a la proximidad de frecuencias entre las dos tecnologías. Por esta razón se debe limitar el espectro ofrecido por las redes TVDM a frecuencias entre 470MHz y 702MHz, además de requerir la utilización de filtros dúplex tanto a la entrada de la recepción como a la salida de la señal a trasmitir. Para el caso de convergencia de terminales con tecnologías 3G la limitación de la banda de frecuencias no es necesaria, sin embargo la utilización de los filtros si, por lo que se consideran filtros dúplex ó *switch* Tx/Rx. [22] [57]

### 3.4.1 Características del Dispositivo Receptor Convergente y Parámetros de Configuración

Estos dispositivos requieren de una configuración rigurosa que se acerca en gran medida a la adoptada para el diseño de terminales móviles. Los parámetros de diseño y desempeño de un dispositivo celular convergente son:

- **Sensitividad:** Es un parámetro muy importante para brindar al usuario mejor recepción ofreciendo un mejor diseño de la cobertura geográfica en condiciones de baja o alta velocidad. Los márgenes de sensitividad para terminales TVDM son de 0.5 a 1dB. [17]

- **Mecanismos ante Interferencias:** Hay muchas fuentes potenciales de interferencias, incluso las analógicas (televisión analógica, radios, transformadores) o digitales (PCs, teléfonos celulares). Es importante que los niveles de interferencia se configuren más alto que lo estipulado en las especificaciones, con el fin de evitar errores en la transmisión de la señal, brindando robustez a la misma. Un objetivo inicial del demodulador es el de proveer una buena recepción en entornos móviles compensando el efecto doppler. La compensación Doppler requiere en los receptores móviles de TVDM por lo menos 100 Hz. El receptor debe soportar un canal con la variación de la frecuencia central y al mismo tiempo mantener una adecuada relación señal a ruido. Este parámetro es crítico para el diseño de una red. Adicionalmente, con el efecto Doppler el receptor se enfrentará con las variaciones del desempeño del canal. Los diferentes ecos recibidos en la antena son muy continuos y el receptor debe compensar estas variaciones para compensar la desincronización con el transmisor. [17]
- **Tiempo de Cambio de Canal:** Este parámetro puede variar ya que maneja tiempos diferentes en los comandos de cambio de canal por parte de cada sistema. Este tiempo en la eficiencia de cambio de canal oscila entre 2 y 5 segundos. [22]

- ***Middleware* para Televisión Digital en Movilidad:** El *middleware* hace referencia a un software de conectividad utilizado por el teléfono celular para recibir aplicaciones distribuidas en plataformas que trabajan en conjunto. Sirve como puente entre el sistema operativo del terminal y las aplicaciones que este puede recibir. En general se usa para la comunicación entre el usuario y el servidor de aplicaciones, en otras palabras, dota de interactividad al servicio. El *middleware* proporciona una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, Application Programming Interface) para facilitar el acceso a estas. [57]

## 3.5 COBERTURA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES

Las características geográficas y las edificaciones de la región donde se desea prestar el servicio de TVDM para teléfonos celulares son en parte las que determinan la cobertura del mismo, de acuerdo a los niveles de calidad mínimos requeridos para ofrecer un servicio óptimo, y depende en gran medida de tres factores técnicos a tener en cuenta que son la Relación Señal a Interferencia mas Ruido (SINR, Signal Interference plus Noise Ratio), la Relación Portadora a Ruido (CNR (C/N), Carrier to Noise Ratio) y la razón entre la potencia pico y la potencia promedio. Para el caso de la CNR, entre mayor sea el umbral se necesita más potencia para dar la cobertura establecida o contar con antenas de mayor ganancia, preamplificadores o receptores refinados. Por su parte, la SINR define la calidad de la señal recibida y que se controla a lo largo del canal de transmisión, y la razón entre las potencias pico y promedio hace referencia a la máxima potencia que debe ser utilizada en transmisión para alcanzar la potencia promedio establecida para que la señal sea recibida por el terminal. Los estándares con modulación OFDM requieren mayor potencia pico debido a que la etapa de amplificación es muy susceptible a distorsiones no lineales en consecuencia a la naturaleza multiportadora de la señal. Para el caso de una señal monoportadora e independiente de fase las distorsiones se evitan por medio de cadenas complejas de amplificadores. [58]

Para determinar el nivel de cobertura en una zona de servicio es necesario hallar la SINR para posteriormente proceder a compararla con la C/N establecida en recepción y determinar si su valor supera dicho umbral. A manera de ejemplo, la SINR en una SFN se puede hallar gracias a tal como se muestra en las ecuaciones 1 (a, b, c).

$$SINR = \frac{Pu}{Pr + Pe + Pt} \quad (a) \qquad SINR = \frac{\sum Pi \cdot Q(ti - to)}{\sum Pi \cdot [1 - Q(ti - to)] + Pe + Pt} \quad (b)$$

$$Q(t_i - t_o) = Q(\tau) = \begin{cases} 1 & 0 \le \tau \le T_g \\ \left[1 - (\tau - T_g)/T_u\right]^2 & T_g \le \tau \le 7T_u/24 \\ 0 & Resto \end{cases} \quad (c)$$

**Ecuación 1. Cálculo de la Cobertura para Televisión Digital Móvil [58]**

donde *Pu* es la potencia útil recibida, *Pr* es la potencia recibida de las interferencias producidas por la propia red, *Pe* es la potencia recibida de las interferencias externas a la red y *Pt* es la potencia de ruido térmico. Pi es la potencia recibida y *ti* es el tiempo de llegada de la señal proveniente del transmisor *i* de la red, *to* es el instante de sincronización temporal o primera señal recibida de todos los transmisores de la red. Q es una función de ponderación cuadrática que viene dada por la ecuación 2, donde *Tg* es el intervalo de guarda absoluto y *Tu* es el periodo útil de símbolo. [58]

## 3.6 TASA DE DATOS PARA TELEVISIÓN DIGITAL EN MÓVIL EN TELÉFONOS CELULARES

Este factor se refiere a la capacidad del sistema de difusión del servicio de TVDM para transmitir una señal digital con una tasa de datos efectiva sobre el ancho de banda determinado. En general, la tasa de datos esta determinada por el tipo de codificación y la modulación. Dependiendo de la necesidad del sistema con respecto al servicio, los estándares que trabajan con esquema de transmisión OFDM tienen la posibilidad de configurar su modulación, los intervalos de guarda y el número de subportadoras, lo que les permite ofrecer diferentes tasas de datos, haciéndolos más flexibles para suplir con las condiciones del entorno. Por su parte, los estándares con otro tipo de modulación manejan una tasa de datos constante. [59]

En general, al aumentar la tasa de protección de errores de código interno, la etapa de modulación de la portadora y acortando el intervalo de guarda, la tasa neta de datos aumenta, en otras palabras, que al disminuir la tasa de protección de errores de código se obtiene una mayor velocidad de transmisión de datos, por consiguiente, la menor tasa neta de datos corresponde a la transmisión mejor protegida. Por otro lado, para una difusión de datos con la velocidad de transmisión más alta se tiene la protección de errores más débil. En la práctica se debe encontrar un compromiso entre la velocidad de transmisión de datos y la protección de errores para cada aplicación. [59]

A manera de ejemplo, el estándar DVB-H para su menor tasa neta de datos que es de 384 Kbps cuenta con un intervalo de guarda de 1/4, una tasa interna de código de 1/2 y maneja una modulación QPSK. Ahora, para la transmisión de datos más alta de 23.7 Mbps cuenta con un intervalo de guarda de 1/32, una tasa interna de código de 7/8 y trabaja con modulación 64-QAM. [59]

## 3.7 NÚMERO DE PROGRAMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL PARA TELÉFONOS CELULARES

Para determinar el número de programas de TVDM que puede recibir un teléfono celular es necesario tener en cuenta tres aspectos técnicos que son, el objetivo de cobertura, que para el caso de teléfonos celulares hace referencia a la cobertura en movilidad y en el interior de edificaciones, para lo cual el sistema debe hacer uso de un tipo de modulación robusto y de técnicas de corrección de errores, el tamaño de la pantalla del terminal, que toma en cuenta la calidad de la señal que este puede recibir según sus características, que para el caso de teléfonos celulares hace referencia a SDTV, y la arquitectura de red, que determina según su tipo de modulación si tiene mayor tasa de datos disponible para enviar mayor cantidad de programas. En general, el número de programas televisivos que pueden ser transmitidos se encuentra entre 8 y 40 canales, número que depende de las

características y especificaciones del sistema y de cada uno de los estándares de difusión del servicio de TVDM. [17] [22] [29]

## 3.8 COMPLEMENTO ENTRE LA RED DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL Y LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

En general, la red de difusión de TVDM y la red de telefonía móvil tienen características particulares, como la prestación de servicios a grandes audiencias y la comunicación bidireccional con los usuarios respectivamente. Para contar con las capacidades de cada una de estas redes es necesario el trabajo en conjunto y como complemento entre ellas para brindar múltiples servicios, ofrecer interactividad al usuario final y en general conformar un sistema robusto para satisfacer al cliente. Es importante entonces identificar el tipo de compatibilidad existente entre la TVD y la telefonía móvil en general, como soporte para determinar la relación entre la red de difusión de TVDM y la red celular.

Es importante tener en cuenta que la interactividad es un punto a favor que posee la TVD, permitiendo al usuario participar activamente del servicio. Para brindar dicha interactividad esta tecnología se apoya en redes alternas como canal de retorno para transportar las peticiones del usuario en forma de una señal digital. Por ejemplo, la TVDM para teléfonos celulares se apoya en la red de telefonía móvil para tal propósito, debido a que la red de difusión del servicio no posee canal de retorno y por ende no está en capacidad de brindar interactividad. De esta forma se obtiene un servicio más llamativo para el usuario debido a que este decide que quiere ver o recibir y aquello a lo que desea tener acceso. La red de telefonía móvil es óptima para la prestación de servicios como VoD, televisión a la carta, video *streaming*[12], entre otros, pero no es muy apta para la prestación del servicio de televisión en directo a grandes audiencias, caso contrario a lo que sucede con la red de difusión del servicio de TVDM, que permite llevar la televisión en directo de forma masiva a los teléfonos celulares. Es por esta razón que los dos tipos de redes se complementan perfectamente para la prestación de diversos servicios, creando además un sistema bastante robusto donde las dos redes deben estar en permanente comunicación. Por lo mencionado anteriormente es importante determinar entonces el tipo de compatibilidad existente entre estas dos tecnologías, tal como se expone a continuación. [17]

### 3.8.1 Compatibilidad entre la Televisión Digital y la Telefonía Móvil

Una forma de transmisión del servicio de TVD es a través de redes celulares de alta velocidad. Los operadores de telefonía móvil ofrecen este servicio por medio de tecnologías 2.5G y 3G, como el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM, Global System for Mobile Communications) a través del Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS, General Packet Radio Service y las Velocidades de Datos Extendidas para una Evolución Global (EDGE, Enhanced Data Rates for Global Evolution), el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS, Universal Mobile Telecommunications System), el Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA, Wideband Code Division Multiple Access), el Acceso de Alta Velocidad para Descarga de Paquetes (HSDPA, High Speed Downlink Packet Access) y el Acceso Ascendente de Paquetes a Alta Velocidad (HSUPA, High Speed Uplink Packet Access). A mayor ancho de banda de la red, mayor es la calidad del servicio ofrecido al usuario. [60]

Este tipo de redes utilizan aproximadamente las mismas tasas de datos que para un servicio de TVD transmitido por otro medio de difusión, cerca a los 300 Kbps o más. Obviamente los valores más altos son alcanzables con redes de tercera generación (3G, Third Generation). Por otro lado, utilizan métodos de corrección de errores específicos para servicios de video como FEC, y definen métodos para protección y corrección de errores a nivel físico también. En

[12] Tecnología que permite la reproducción de sonido o vídeo sin que sea necesario descargar previamente todo el archivo de recurso.

general, en cuanto a las consideraciones técnicas que deben tener en cuenta estas redes para ofrecer el servicio de TVD están la carga sobre los servidores que generan el contenido, que es bastante alta pues se deben mantener tantas sesiones como usuarios conectados existan, por otro lado la carga en la red de transporte, debido a los embotellamientos que se presentan en la red celular en momentos específicos como navidad o año nuevo, entre otros. También es importante considerar que la difusión de TVD consume una gran cantidad de recursos de la red celular, motivo por el cual en ocasiones se deben sacrificar canales de voz para ofrecer video digital. Finalmente están los costos de este servicio, que se cobra como un servicio de transmisión de datos, por lo que puede ser altamente costoso para el usuario. [61][62]

Dependiendo de su capacidad, las redes celulares utilizan dos tipos de transmisión que son el *unicast* y el *multicast*. Para la primera, la transmisión se hace uno a uno reservando el canal de voz para transmitir la señal de televisión, pero debido a que el ancho de banda es insuficiente para este tipo de servicio, este no es de óptima calidad. La segunda, donde la transmisión es uno a varios, el objetivo es reservar parte del ancho de banda de la red y disponerlo para la transmisión del servicio de televisión, donde la calidad aumenta pero sigue limitada por la capacidad de estas redes. Ahora, las redes celulares por naturaleza son bidireccionales, característica que les permite recibir peticiones de los usuarios y así ofrecer servicios interactivos, además de sacar ventaja de la bidireccionalidad para asegurarse que los servicios lleguen al cliente por ser orientados a conexión. Así, las redes celulares pueden ser óptimas para prestar servicios de TVD a uno o varios usuarios, puesto que no están en capacidad para ofrecer el servicio de difusión directa a grandes audiencias. Cabe anotar que con la inclusión de MBMS las redes celulares han optimizado la prestación del servicio de TVD. Como ejemplo de los servicios de televisión que brindan las redes celulares se encuentran el VoD, el PPV, televisión a la carta, video streaming, entre otros. [61] [62]

Por otro lado, cada uno de los estándares de difusión de TVDM presenta compatibilidad con algunas de las tecnologías de telefonía móvil planteadas anteriormente, que en parte se encuentra relacionada y se fortalece con el origen de cada una de ellas, es decir, el lugar donde fueron creadas y el entorno donde funcionan conjuntamente, pero la compatibilidad radica principalmente en la capacidad del terminal para sortear los problemas de interferencias que se pueden presentar entre las frecuencias de trabajo tanto del servicio de TVDM como de telefonía móvil, puesto que el espectro en el cual trabaja cada una puede interferir con el de la otra. El terminal posee dos antenas para la recepción de los servicios ofrecidos por cada tecnología respectivamente, por lo que dichos terminales deben contar con los mecanismos adecuados para contrarrestar cualquier tipo de interferencia, como la ubicación de filtros antes del receptor del estándar respectivo de TVDM. [61] [62]

Las tecnologías de acceso para telefonía móvil celular que soportan la transmisión de servicios de TVD trabajan a ciertas frecuencias al igual que los sistemas de difusión de TVDM. Por ejemplo, GSM trabaja en 850, 900, 1800 y 1900 MHz, UMTS trabaja en 850, 1900, 2100 y una extensión en los 2500 MHz, y WCDMA trabaja en 850, 1900 y 2100 MHz. Cabe anotar que los valores de frecuencia nombrados son teóricos, ya que en algunos casos se trabaja con frecuencias cercanas a los mismos. Dependiendo de la distribución de frecuencias en el espectro electromagnético en cada país, se establecen los valores de frecuencia donde trabaja cada tecnología de telefonía móvil. Adicionalmente, tecnologías como EDGE, GPRS, HSDPA y HSUPA han sido creadas para complementar las tecnologías de acceso de telefonía móvil, debido a la necesidad de manejo de mayores velocidades para la prestación de servicios móviles más robustos, aunque son utilizadas para conexiones a altas velocidades de datos en una transmisión punto a punto. Por su parte, como se nombró en el ítem 2.2.4, las frecuencias más utilizadas por los estándares de difusión de TVDM hacia teléfonos celulares son, las bandas IV y V de UHF, comprendidas entre 470 y 862 MHz respectivamente, y la Banda L, que se encuentra entre 1452 y 1492 MHz. [17] [22]

Como se puede apreciar, tanto las tecnologías de acceso de telefonía móvil como los estándares de difusión de TVDM trabajan en rangos de frecuencia bastante cercanos, lo que puede llevar a problemas de interferencia entre canales adyacentes. Es necesario entonces que los terminales móviles, en este caso los teléfonos celulares,

manejen técnicas o métodos para sortear este problema. Es de mencionar que el caso de estudio es diferente para cada país, pues tal como se mencionó anteriormente, no todos los países manejan las mismas frecuencias para cada tecnología. A manera de ejemplo, en un país que trabaje con tecnología de acceso GSM/EDGE 900 para telefonía móvil y tenga establecida la banda V de UHF para difusión de TVDM, se debe tener especial cuidado en el terminal pues se puede presentar conflicto en cuanto a la posible interferencia producida por la cercanía entre frecuencias de trabajo de las dos tecnologías. Es en este punto donde los fabricantes de los teléfonos celulares específicos para un país determinado deben manejar técnicas en el terminal para evitar el problema de interferencia, tal es el caso de la adición de filtros que se ubican antes del receptor de TVDM y que ayudan a la eliminación de cualquier tipo de interferencia. [22]

Por lo planteado anteriormente se puede ver que la TVD y la telefonía móvil son compatibles en cuanto a que la red celular esta en capacidad de brindar este servicio, pero con la limitante en el ancho de banda disponible y el consiguiente número limitado de usuarios a los que puede ofrecer el servicio. Por otro lado, gracias al manejo en los terminales para contrarrestar interferencias, las dos tecnologías pueden trabajar en conjunto. Se puede establecer entonces una relación entre la red de difusión de TVDM y la red celular, que trabajan en conjunto para brindar mayor cantidad de servicios, ofrecer interactividad y crear un sistema mucho más robusto, relación que se expone continuación.

### 3.8.2 Relación entre la Red de Difusión de Televisión Digital Móvil y la Red de Telefonía Móvil

Las características particulares tanto de la red de difusión de TVDM, que no posee un canal de retorno definido, como de la red de telefonía móvil, que por su ancho de banda limitado no esta en capacidad para ofrecer contenidos a grandes audiencias, especialmente TVD en directo, hacen necesario un complemento entre las dos y que se convierte en una buena solución para contar con un sistema más robusto, pudiendo ofrecer servicios interactivos a la totalidad de clientes en un área de cobertura establecida. En general, la red de difusión de TVDM permite una transmisión masiva de contenidos y la red de celular permite ofrecer servicios bajo petición por parte del usuario, además de ofrecer un acceso seguro, personalizado y un factor clave como la facturación, aspectos que las redes de difusión no poseen.

Los estándares de TVDM admiten la convergencia entre la red de difusión y la red celular, partiendo de la necesidad de contar con un canal de retorno, permitiendo así prestar tanto los servicios de televisión, datos y radio digital a grandes audiencias, como servicios interactivos gracias a la comunicación bidireccional de la red celular con los usuarios. La red de telefonía móvil no solo puede ser utilizada como canal de retorno sino también como herramienta en la recuperación de información perdida, permitiendo un uso más eficiente de los recursos disponibles del sistema general. [57] [63] [64]

Como adición a los servicios que se pueden prestar gracias al trabajo conjunto de las redes de difusión de TVDM y celular, las ventajas de su relación se pueden evidenciar en momentos en los que el servicio ofrecido en una sesión de transmisión por parte de la red de difusión se ve afectado en cuanto a las condiciones de recepción por parte de algunos de los usuarios, condiciones que pueden ser peores comparadas a las de la gran mayoría de los clientes, donde los primeros podrían ser atendidos por la red celular en una forma más eficiente. Por otro lado, las redes celulares 3G, gracias a mejoras realizadas, proporcionan mecanismos para contrarrestar errores en el sistema, además de sacar provecho de las altas velocidades y ampliación del ancho de banda con el que cuentan actualmente, posibilitando así la transmisión a varios usuarios. De esta forma estas redes están en capacidad para transmitir los contenidos en lugares donde las redes de difusión no se encuentran todavía desplegadas o en ciertas áreas donde el número de usuarios es relativamente pequeño. La planificación de redes de difusión puede ser en gran medida semejante a la de las redes celulares, para alcanzar niveles de cobertura similares y donde los receptores del servicio de difusión se benefician en gran medida de la tecnología con la que cuentan los dispositivos *handheld*, como el teléfono celular, lo que significa que la integración de las dos tecnologías en los receptores es

posible, logrando el acceso a los dos tipos de redes. Lo anterior se traduce en la ampliación de servicios y la creación de modelos de negocio. [57] [63] [64]

Algunas tecnologías incluidas en los dos tipos de redes presentan aspectos claves en la colaboración para potenciar la cooperación entre los operadores de radiodifusión y los operadores de telefonía móvil, tecnologías que se verán en detalle más adelante. El complemento entre las dos redes se justifica además por el modelo de negocio más probable, donde una red única para la prestación del servicio de TVDM es operada y gestionada por un operador determinado, quien alquila dicha red a los diferentes operadores de la red de telefonía móvil celular. El trabajo conjunto entre estos dos tipos de redes permite sacar provecho de las ventajas de cada una, teniendo claras sus características y necesidades adicionales. Se puede concluir entonces que una relación entre las dos redes es un complemento óptimo que no solo las beneficia particularmente sino que también favorece en gran medida a los usuarios por la posibilidad de contar con servicios más completos y más llamativos. [57] [63] [64]

### 3.8.3 Interactividad para Televisión Digital Móvil en Teléfonos Celulares

Básicamente interactividad hace referencia a estar viendo algo en el dispositivo receptor, apretar algún botón y ver alguna reacción o cambio en lo que se está observando. Si la red de la que se esta recibiendo el servicio es la red de difusión, la forma de ver la reacción en lo que se esta viendo es por medio de aplicaciones que estén conectadas a ambas redes en simultáneo y sólo muestren partes de ese contenido, según las interacciones realizadas. El terminal se ocupa de la ficción de interacción altamente personal, mientras que el contenido *broadcast* se afecta solamente por opinión de la mayoría de usuarios. La interactividad también se puede entender como la capacidad de ofrecer contenidos adicionales a los programas de televisión, a través de servicios públicos, comerciales o de entretenimiento, permitiendo al usuario ver información asociada al contenido audiovisual, como programación de canales, participar en concursos, votaciones, comprar productos o servicios e incluso participar en los propios programas de televisión. Gran parte de esta interactividad es posible gracias a aplicaciones que complementan la programación, ofreciendo al espectador la posibilidad de personalizar el contenido que muestra su terminal, ya sea accediendo a información enviada durante el proceso de emisión, pero que solo se hace posible si el espectador lo desea, o bien accediendo a servidores con los que puede intercambiar información a través de un canal de retorno, utilizando el terminal móvil como interfaz de salida. [15] [64]

Realmente el tema de interactividad todavía necesita desarrollo dentro del servicio de TVDM, es decir, existen los canales de retorno y están perfectamente integrados en el dispositivo *handheld,* y además tanto la red de difusión de TVDM como la red de telefonía móvil celular se unen en el operador, pero no existe una integración tan profunda entre las dos, es mas, quizás ni siquiera tenga sentido que exista. La red de difusión tiene sentido para que todos los participantes vean lo mismo, y la red celular para contenidos personalizados. Lo que haga un único individuo muy probablemente no es tan importante como para alterar el contenido de la red de difusión. Por ejemplo, si un gran número de personas pueden opinar que a determinada hora se transmita determinada película en lugar de otra, ese sería un buen complemento entre ambas redes. Otro tipo de complemento podría ser a través de contenidos relacionados. Una persona puede ver determinado programa, y al final del mismo se proveen *links* o enlaces para ver algunos contenidos más breves pero más específicos o profundos, que posiblemente no interesen a mucha gente y por eso no son transmitidos por la red de difusión sino por la red celular. [15] [57]

En cierta medida es difícil plantear cuál es el objetivo con respecto a la relación existente entre ambas redes. Un objetivo podría ser describirla, otro podría ser proponer ideas para mostrar al usuario final una mayor integración, entre otros. Cuando se habla de compatibilidad entre la red de difusión de Televisión Digital Móvil y la red de Telefonía Móvil Celular posiblemente no se llegue a una conclusión del estilo “sí, son compatibles” o “no, no son compatibles”, pues en realidad son cosas complementarias. Ese es el punto en cuestión y es por esta razón que la relación existente entre estos dos tipos de redes se debe analizar con la base de que son redes complementarias y

que la compatibilidad existente consiste en que cada red aproveche la existencia de la otra para ampliar su utilización por parte de los clientes finales.

Los servicios que pueden llegar a ofrecer las redes de los diferentes estándares de TVDM llegarán a su máximo nivel con un óptimo desempeño de interactividad con los usuarios. Para brindar esta interactividad y explotar enormemente las posibilidades de negocio se han definido escenarios híbridos entre las redes de difusión de Televisión Digital Móvil y las redes celulares. La asociación entre estas dos redes permite por medio de la red *broadcast* la transmisión masiva de contenidos y por medio de la red celular dar servicios bajo petición, aprovechando las características que estas ofrecen hasta ahora. [64] [65]

A continuación se describen las posibles integraciones que se pueden realizar entre las dos redes:

#### 3.8.3.1 Interactividad local ó integrada en el teléfono celular

Para este tipo de interactividad la red de difusión y la red celular se encuentran aisladas entre si y sin ningún tipo de relación. El usuario no puede entonces establecer contacto con el radiodifusor, contrario a lo que sucede con el operador de la red celular, ya que este puede brindar al usuario nuevos servicios como votaciones o descargas, que son totalmente independientes del operador de la red de difusión. En la interactividad local, el radiodifusor puede ofrecer todos sus servicios, pero al no existir un canal alterno o de retorno podría resultar bastante engorroso implementar aplicaciones interactivas relacionadas a los servicios, además de aspectos claves como la tarificación y facturación, por lo que se concluye que los servicios que este operador podría ofrecer son los de TVDM abierta ó gratuita, además de aplicaciones como guías de programación, teletexto digital, información climática, entre otras, aplicaciones que se encuentran almacenadas en el receptor y que se renuevan con cierta periodicidad. [54] [64] [65]

#### 3.8.3.2 Interactividad remota

Para este tipo de interactividad es necesario contar con un canal de retorno que permite no sólo ver contenidos adicionales a la programación y navegar por ellos, sino también enviar respuestas por parte de los usuarios, e incluso comunicarse con otros usuarios. De esta forma el cliente puede participar en concursos, realizar votaciones, efectuar solicitudes o enviar mensajes a través de la aplicación interactiva.

El usuario interactúa con un proveedor de servicios exterior, al que se conecta mediante el canal de retorno. Para ello es necesario contar con un decodificador con las especificaciones adecuadas que le permiten proporcionar servicios interactivos que pueden estar ó no asociados a los servicios de video y audio ofrecidos por el operador del servicio, permitiendo una interactividad completa. Los escenarios de interactividad remota y su probabilidad de éxito dependen de factores como las oportunidades de negocio, detalles tecnológicos, normativas, cobertura, costo de los terminales, y todo esto a su vez determina en conjunto el mercado de la tecnología en un país. Es en la interactividad remota donde tiene sentido la integración entre la red de difusión de Televisión Digital Móvil y la red celular. [15] [64] [65]

A continuación se exponen los principales escenarios de integración de estas dos redes:

- **Red celular como canal de integración:** Para este tipo de interactividad remota se establece una relación entre las redes y el operador de la red de telefonía es el encargado de interactuar con el *radiodifusor*. Para este caso se ofrecen servicios como VOD, PPV, entre otros. La interactividad con el usuario para la recepción de los servicios respectivos se establece mediante el canal de retorno proporcionado por la red celular, que ofrece además autenticación y facturación. Cabe anotar que el operador de la red celular continuará brindando los servicios tradicionales como votaciones o descargas de video, audio y datos. [15] [65]

- **Red celular con canal de recepción de difusión integrado:** En este tipo de interactividad se establece un único operador del sistema, encargado de la integración de las redes. El contenido se transmite por la red de difusión y el canal de retorno para ofrecer interactividad es la red celular. El operador de telefonía móvil puede variar el contenido *broadcast* con las peticiones o respuestas del usuario, siendo el operador de telefonía móvil quien ofrece interactividad. [15] [65]

#### 3.8.3.3 *Middleware*

El *middleware* hace referencia a un software incluido en el terminal móvil utilizado para brindar interactividad y que cuenta con una amplia flexibilidad, basado esencialmente en la descarga de aplicaciones en adición o complemento al video. Dichas aplicaciones se ejecutan gracias al decodificador del receptor, que se encarga de capturar las peticiones del usuario y llevar a cabo la respuesta correspondiente. Este elemento tiene asociada una Interfaz de Programación de Aplicaciones, más conocida como API, que en definitiva establece las respectivas clases asociadas a las diferentes aplicaciones interactivas. [15] [64]

En el caso en el que el terminal no cuenta con *middleware*, el usuario tan sólo tiene acceso a determinadas aplicaciones que el fabricante haya instalado en el decodificador, como juegos, interfaz gráfica para la configuración y el uso del equipo, entre otros. Cuando se cuenta con *middleware,* este combina la transmisión digital de los servicios de vídeo y audio del operador con las aplicaciones que pueden ser descargadas para ser ejecutadas en el decodificador, ofreciendo interactividad local. Estas plataformas no poseen canal de retorno y la única interactividad que ofrecen se desarrolla en el propio decodificador del usuario, por ejemplo, una EPG básica. Cabe anotar que el *middleware* es de vital importancia para brindar servicios interactivos, ya que en últimas es este quien provee las aplicaciones interactivas necesarias para poder ofrecer dichos servicios. [15] [64]

#### 3.8.3.4 Servicios interactivos

Los servicios interactivos se clasifican en tres categorías, tal como se expone a continuación:

- **Servicios ligados a la programación:** El usuario puede participar (concurso, encuesta, etc.) o acceder a información adicional relacionada con la programación recibida en ese momento, mientras continua viendo el programa en formato más reducido (escalado del video), servicios que complementan con información suplementaria a la programación audiovisual emitida. [15] [65]

- **Servicios independientes de la programación:** El cliente puede, en el momento en que lo desee, acceder a la información almacenada en su receptor, independientemente del contenido del programa que esté en ese momento en emisión, es decir, son aquellos que ofrecen una información independiente de la programación audiovisual que se está emitiendo en ese momento. [15] [65]

- **Servicios transaccionales:** Son aquellos que ofrecen la posibilidad de enviar y recibir información de forma personalizada y exclusiva. [15] [65]

En la tabla 12 se pueden ver algunos ejemplos de servicios interactivos.

**Tabla 12. Ejemplos de Servicios Interactivos [15] [64] [65]**

| Tipos de Servicio | Interactividad Local | Interactividad Remota |
|---|---|---|
| Servicios de Información | ▪ Guía electrónica de programación<br>▪ Teletexto mejorado<br>▪ Juegos | ▪ Guía electrónica de programación<br>▪ Teletexto mejorado<br>▪ Juegos<br>▪ Aeropuerto<br>▪ Tráfico |
| Servicios Ligados a la Programación | ▪ Estadísticas deportivas<br>▪ Información ampliada sobre el programa<br>▪ Noticias desarrolladas | ▪ Participación en concursos<br>▪ Encuestas<br>▪ Preguntas y entrevistas a invitados<br>▪ Pago por visión |
| Servicios Transaccionales | --- | ▪ Reserva de plazas<br>▪ Consultas bancarias<br>▪ T- administración<br>▪ Telecompra |

Por otra parte, los servicios interactivos se implementan por medio de aplicaciones interactivas. Se puede definir una aplicación interactiva como aquellos programas adicionales a los contenidos de televisión a los que puede accederse y que un decodificador interactivo puede ejecutar. El usuario es el que decide si quiere o no acceder a las aplicaciones interactivas mediante una acción simple como presionar un botón en el terminal móvil. Con el fin de comunicar al cliente la posibilidad de acceso a aplicaciones interactivas, los operadores o canales de televisión presentan un pequeño menú interactivo indicando al usuario la posibilidad de ver una aplicación o un grupo de aplicaciones interactivas. [15]

Las aplicaciones interactivas pueden ser de muy diversos tipos, pero de manera general se pueden dividir tal como se expone a continuación:

- **Aplicaciones para Servicios Públicos:** Aplicaciones para la prestación de servicios de información (como el estado del tráfico y del tiempo, farmacias de turno, teléfonos de interés, información de aeropuertos, trenes, buses, entre otros) y servicios avanzados (como gestión de impuestos, informaciones y servicios de administraciones públicas, servicios sociales, entre otros). [15]

- **Aplicaciones para Servicios de Entretenimiento o Comerciales:** Por un lado están las ligadas a ciertos contenidos o programas, concursos, votaciones, publicidad interactiva, venta por impulso, compre de eventos, entre otros. Por otro lado está la información específica sobre concursantes, actores, entre otros, información que puede ser independiente del contenido o puede estar integrada y sincronizada con el mismo, como un concurso interactivo al mismo tiempo que el programa. [15]

#### 3.8.3.5 Actores Involucrados en la Cadena de Valor de la Interactividad

- **Radiodifusor:** Encargado de integrar las aplicaciones interactivas desarrolladas por el proveedor en su oferta de contenidos audiovisuales.
- **Operador de Red de Difusión:** Responsable de la operación de la red de difusión de los contenidos audiovisuales digitales junto con las aplicaciones interactivas integradas.
- **Proveedor del Servicio de Difusión: Encargado de prestar u ofrecer los servicios de contenido**
- **Operador de la Red Celular:** Encargado de operar la red móvil y los servicios móviles respectivos.

- **Creador de Contenidos y Aplicaciones:** Encargado de desarrollar este tipo de aplicaciones, que pueden ser juegos, navegadores, la guía electrónica de programación (EPGs), servicios de información mejorados, aplicaciones educativas, servicios públicos a través de la televisión, entre otros.
- **Servidor de Interactividad:** Contiene las aplicaciones y servicios interactivos, además de recibir las peticiones y respuestas de los usuarios para ser atendidas.
- **Cliente:** Aquel que visualiza los contenidos y los comandos de interactividad y genera algún tipo de petición. Las respuestas de los clientes se envían por la interfaz de la red celular con destino al servidor de interactividad. El servidor de interactividad puede comunicarse, si es necesario, con los clientes usando este mismo canal unicast. [15] [65]

Como se mencionó anteriormente, existen tecnologías utilizadas tanto por las redes de difusión de Televisión Digital Móvil y las redes de Telefonía Móvil Celular que facilitan la cooperación entre ellas y que adicionalmente permiten la descarga de contenidos a dispositivos móviles de forma masiva y simultánea. Por un lado está *IP Datacast*, basada en la distribución de datos IP utilizando las redes de difusión de Televisión Digital Móvil, y por otro lado se encuentra Multimedia Broadcast Multicast Service, que se basa en una mejora en las redes celulares para poder ofrecer este servicio, la primera desde el punto de vista de los creadores de contenidos y la segunda desde los operadores de telefonía móvil.

#### 3.8.3.6 IP Datacast (IPDC)

IP Datacast hace referencia al empaquetamiento de la información mediante IP, contenido que posteriormente es difundido hacia los usuarios. A pesar de que los sistemas que trabajan con IPDC no necesitan una capa física establecida, en los últimos años se ha trabajado en conjunto con los estándares de difusión de servicios digitales a dispositivos *handheld*, y es así como se han estandarizado sistemas IPDC que utilizan dichos estándares como capa de acceso al medio. En general, un sistema IPDC puede difundir cualquier tipo de contenido, aunque el servicio al que se le apunta con mayor fuerza actualmente es la TVD en dispositivos móviles. Adicionalmente, si el sistema cuenta con un canal de retorno, la implementación de aplicaciones interactivas se ve altamente favorecida gracias a la presencia de IP en la mayoría de servicios y su manejo por parte de los dispositivos. [63] [64] [66]

IPDC es una tecnología que permite la entrega de contenidos digitales a través de una red de radiodifusión o sobre un sistema extremo a extremo, basada en el protocolo IP y que es una variación del paradigma IP *Multicast*. Como ya es sabido, las redes *broadcast* se encuentran bastante posicionadas para la entrega de contenidos a grandes audiencias, y gracias a IPDC están en la capacidad de ofrecer grandes cantidades de datos a un número altamente significativo de usuarios. La red de radiodifusión es utilizada como transporte físico para la entrega de contenidos IP, donde los datos son encapsulados según el mecanismo respectivo establecido para tal fin. Con IPDC los operadores de la red de difusión están en capacidad de ofrecer el servicio de TVD en el teléfono celular y permite a los operadores de telefonía móvil ofrecer servicios que complementen los existentes. Esta tecnología permite combinar las capacidades y ventajas de la radiodifusión con las de las redes celulares. [63] [64] [66]

Gracias a la difusión de contenido digital por medio de IP es posible entregar eficazmente la información a grandes audiencias, ventaja que se ve reflejada en los clientes debido a la mayor posibilidad en cuanto a la elección para acceder a contenidos multimedia y un incremento en las diferentes opciones disponibles de contenido adicional. La difusión de datos IP es un servicio que logra combinar a través de este protocolo y de la radiodifusión digital aplicaciones de *software*, interfaces de programación y en general contenido digital. Es así como los sistemas IPDC son un elemento importante para fortalecer la cooperación entre las redes de difusión de TVDM y las redes celulares. Por tal razón, todas las especificaciones mencionadas anteriormente y logradas gracias a IP Datacast presentan numerosas oportunidades de negocio para los actores involucrados en la cadena de valor de esta tecnología. [63] [64] [66]

### 3.8.4 Modelo de Negocio

El modelo de negocio surge a partir de la relación existente entre los diferentes actores que hacen parte de la cadena de valor del servicio de TVDM. Existen cuatro modelos posibles, cada uno de los cuales cuenta con un administrador. A continuación se exponen los respectivos modelos.

#### 3.8.4.1 Modelo gestionado por el radiodifusor

En este modelo de negocio el radiodifusor es el encargado de gestionar la atención y relación con los usuarios, la prestación de los servicios y el mercadeo. Normalmente el radiodifusor ofrece un paquete con programación propia y recibe pagos por parte de los consumidores, quienes cancelan una tarifa respectiva por suscripción al servicio, recibe además pagos por concepto de publicidad y pagos del operador de la red celular por el alquiler de la red de difusión. Debido a que el cliente no recibe servicios integrados, es necesario que este cancele costos adicionales para poder recibir contenidos por parte de diferentes proveedores, por ejemplo, la recepción de servicios interactivos ofrecidos por el operador de la red celular, aunque el radiodifusor también podría ofrecerlos, pero necesitaría un procedimiento de facturación, figurando como un Operador de Red Móvil Virtual (MVON, Mobile Virtual Operator Network), donde en realidad el pago por dichos servicios los capta el operador de telefonía móvil. Este último se puede ver limitado en general dentro de este modelo, excepto por los servicios básicos que normalmente ofrece. [67]

Un factor importante que se debe tener en cuenta en este modelo es que tanto el radiodifusor como el operador de telefonía móvil se deben poner de acuerdo en relación a los dispositivos receptores del servicio, los cuales deben ser compatibles con cada una de las redes para poder recibir los diversos servicios. Debido a los costos elevados que se pueden presentar por la inclusión de la tecnología, se debe tener como estrategia la ayuda a los usuarios por medio de subsidios o financiamiento, lo que ayudará a la obtención de los terminales por parte de los clientes. Los gastos en los cuales puede incurrir el radiodifusor son por concepto de pago al proveedor de contenidos y los relacionados con el operador de la red de difusión por la configuración y el mantenimiento de la red, a menos que el se encargue de dichas tareas. En la figura 25 se muestra la forma como el radiodifusor gestiona el modelo de negocio. [6725

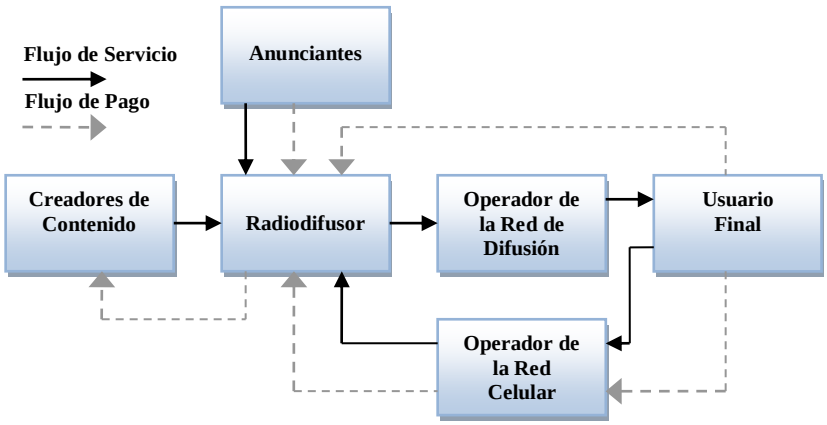



**Figura 25. Modelo de Negocio Gestionado por el Radiodifusor [67]**

#### 3.8.4.2 Modelo gestionado por el operador de la red celular

En éste modelo, el operador de la re celular gestiona la atención y la relación final con el cliente, además de ser el responsable de la provisión de los servicios y el mercadeo. En adición, el operador de la red celular necesita adquirir o alquilar el espectro, es decir, cancelar un costo por el uso de frecuencias o en su defecto pagar al operador de la red de difusión por el uso de dicha red, además de pagar por el contenido al radiodifusor o a otros proveedores. Los

clientes tienen acceso a servicios integrados, lo que significa que el paquete completo de servicios será ofrecido por un solo proveedor de servicio, en este caso el proveedor del servicio a través de la red celular. [67]

Como una variación, el operador de la red celular puede manejar directamente la publicidad, y mientras es el responsable del mercadeo general, es posible que el radiodifusor maneje el mercado individual de los programas de televisión. Para los programas que generan ingresos, el radiodifusor sería el responsable de la comercialización del programa, mientras que el operador de la red celular sería el responsable de la facturación, donde los ingresos serían compartidos. El operador de la red móvil obtiene pagos por parte de los usuarios que hagan una suscripción al servicio y/o que adicionalmente hagan uso de servicios interactivos, donde se hace necesario el procedimiento de facturación respectivo. Los servicios recibidos por el usuario son integrados, por lo que no es necesario hacer pagos a diferentes proveedores por cada servicio. [67]

El operador de la red celular tiene el control total sobre los terminales y debe buscar alternativas como la de subsidiar el costo de los mismos para lograr una penetración aceptable en el mercado y poder así ofrecer un paquete completo de servicios a los usuarios. Uno de los gastos adicionales en los que debe incurrir el operador de la red celular es el pago que debe cancelar al operador de la red de difusión por la configuración, puesta en marcha y mantenimiento de dicha red, y proveer la posibilidad al radiodifusor de ofrecer los programas. Un operador celular puede llegar a ofrecer sus propios canales, adquiriendo una licencia de emisión. En un área donde exista más de un operador de telefonía móvil, cada uno ofrecerá un paquete completo de servicios, que incluso pueden ser iguales para varios o para todos, cayendo en el uso ineficiente de las frecuencias asignadas. La figura 26 muestra el modelo de negocio gestionado por el operador de la red celular. [67]

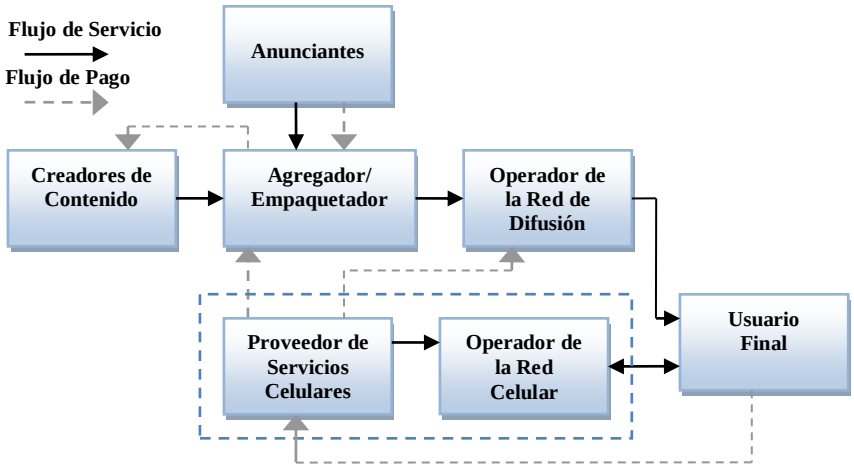



**Figura 26. Modelo de Negocio Gestionado por el Operador de la Red Celular [67]**

### 3.8.4.3 Modelo gestionado por un proveedor de servicio de difusión integrado

En este modelo, el proveedor de servicios de difusión actúa como facilitador entre los diferentes operadores de redes celulares para la agregación de los canales de televisión y la utilización de la gran capacidad de transmisión de la red de difusión.

Para ofrecer el servicio, el proveedor del servicio de difusión debe pagar por el contenido al operador de la red de difusión o a otro tipo de proveedores. Este actor puede además llegar a ser el radiodifusor y así establecer sus propios canales, adquiriendo la licencia de emisión específica. Los usuarios de cada una de las redes de telefonía móvil tienen acceso a un grupo de servicios integrados, que significa que cada operador de red celular ofrece un paquete completo de servicios, que pueden diferir en ciertos casos como en la agrupación con diversos servicios y

de distintas maneras. En este modelo el proveedor del servicio de difusión recibe pagos por parte de los operadores de las redes celulares, que a su vez facturan a sus respectivos usuarios por el uso de los servicios. Adicionalmente, es posible ofrecer servicios interactivos por parte de cada operador de las redes celulares, que además deben ser facturados por separado. [67]

Mientras que los operadores de las redes celulares se encargan del mercadeo general de sus servicios, puede ser que los operadores de la red de difusión se encarguen de la comercialización individual de los canales de televisión. En el caso de los canales que generan algún tipo de ingreso, los operadores de la red de difusión son los encargados de cada canal, mientras que los operadores de las redes celulares se encargan de la facturación respectiva, para lo cual las ganancias son compartidas. Cabe anotar que los operadores de las redes celulares son quienes tienen el control sobre los terminales, además de subsidiar su compra por parte de los usuarios y ofrecer los respectivos servicios. El proveedor del servicio de difusión debe establecer las normas necesarias para la venta del conjunto de servicios, además de su emisión, recepción, compra y protección. Este modelo supera el uso ineficiente de frecuencias por parte del modelo gestionado por un operador de red celular. [67]

Los ingresos que obtiene el proveedor del servicio de difusión provienen de inversionistas que no se involucran con el negocio de difusión de televisión móvil, de los radiodifusores que proveen canales de televisión bajo su propia capacidad de difusión, de un consorcio de radiodifusores, de un consorcio de operadores de redes celulares, de un operador de una red celular que tenga acceso a las capacidades de difusión de la red, entre otros. Finalmente, los pagos en los que debe incurrir el proveedor del servicio de difusión son con respecto a la puesta en marcha del servicio, la operación y mantenimiento por parte del operador de la red de difusión, a menos que el mismo esté en la capacidad de cumplir con dichas consideraciones, además de pagar a los radiodifusores por los canales de TVDM. El proveedor del servicio de difusión está en capacidad para determinar o definir los canales a ser transmitidos a los usuarios, teniendo en cuenta los respectivos reglamentos por parte de la licencia y los intereses de los operadores de las redes celulares con respecto a los canales que pueden ofrecer a los clientes. En la figura 27 se puede ver el modelo de negocio gestionado por un operador independiente. [67]

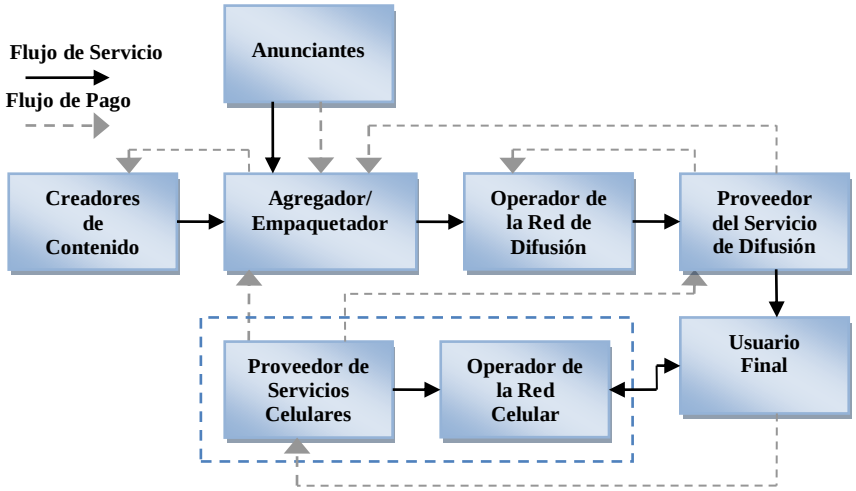



**Figura 27. Modelo Gestionado por un Proveedor de Servicio de Difusión Integrado [67]**

### 3.8.5 Cadena de Valor en Televisión Digital Móvil

Tras conocer los posibles modelos de negocio para la TVDM, es necesario saber como es el manejo que se da en la cadena de valor que genera dicho modelo, teniendo en cuenta que en el mismo intervienen diversos actores que a

su vez cumplen con una función específica. En la figura 28 se puede ver en general como se genera la cadena de valor dentro de la TVDM.

**Figura 28. Cadena de Valor en Televisión Digital Móvil [59]**

Para entender de una mejor manera el desempeño de cada uno de los actores que intervienen en la cadena de valor de TVDM, a continuación se hace una breve descripción de cada uno de ellos. [59]

- **Proveedor de Contenido:** Este actor es el encargado de la creación tanto de los servicios audiovisuales o televisivos como de los servicios y aplicaciones interactivas, que son aquellos que demanda el usuario.
- **Proveedor de Servicios:** Es aquel que se encarga de agregar los diferentes tipos de contenido que posteriormente se ofrece al usuario, facilitando su búsqueda y ubicación.
- **Facturador:** Es el encargado de recaudar el costo respectivo por motivo del consumo del contenido y de los servicios en general por parte del usuario.
- **Operador de la Red:** Este actor hace referencia al difusor de la señal, que es el encargado de entregar los diferentes contenidos al usuario.
- **Operador de la Red de Retorno:** Es el actor encargado de gestionar el canal de retorno que une al usuario con cualquier otro actor de la cadena de valor.
- **Terminal Móvil:** Más que un actor hace referencia al dispositivo receptor, en este caso el teléfono celular, a través del cual el usuario puede acceder a los diferentes servicios disponibles.

De esta forma se puede ver cuales son las consideraciones técnicas más importantes a tener en cuenta para la convergencia de la TVD a teléfonos celulares, además de entender el tipo de compatibilidad que existe entre ésta tecnología y la telefonía móvil, que buscan un trabajo conjunto como complemento y con el fin de establecer una plataforma robusta para ofrecer diversos servicios a los usuarios.

# 4. DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL MÓVIL EN TELÉFONOS CELULARES

En este capítulo se definen los criterios técnicos propuestos para la implementación en Colombia de la TVDM, producto del estudio realizado a lo largo del proceso de desarrollo de este Trabajo de Grado. Dichos criterios no pretenden ser excluyentes ya que a juicio de diferentes personas pueden existir otros que complementen los aquí expuestos. Finalmente se expone la viabilidad técnica de la implementación de la TVDM en el país al determinar cuál es el estándar que cumple en mayor medida las consideraciones técnicas para ser adoptado en Colombia teniendo en cuenta la adaptación de estos al entorno colombiano y los criterios técnicos planteados.

## 4.1 CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL EN TELÉFONOS CELULARES

Los criterios técnicos planteados a continuación se definen teniendo como referente el entorno colombiano y las características que debe tener el estándar más apropiado para implementar en el país el servicio de TVDM, además de las consideraciones técnicas para la convergencia de la TVD a los teléfonos celulares.

### Criterio 1. Se debe Hacer un Manejo Adecuado de Compresión y Codificación de Fuentes

La compresión y codificación de las fuentes de video y audio es un paso obligado para la transmisión, acceso, visualización ó almacenamiento de señales de TVD. Esta compresión y codificación se realiza de forma independiente tanto para el video y audio debido a las características de las señales y a las condiciones de la transmisión. Por esta razón el estándar elegido por Colombia para la difusión de TVD a teléfonos celulares debe contar con un sistema de codificación de fuentes lo suficientemente robusto que abarque características como las que se mencionarán a continuación.

Los datos de video ocupan niveles de ancho de banda elevados en comparación con otros tipos de datos durante la transmisión, por lo que la codificación de video sobre sistemas radiodifundidos dirigidos a dispositivos móviles debe contar con codificadores que brinden soluciones a aspectos tales como la alta eficiencia de compresión y capacidad de transporte, brindar soporte de mecanismos de corrección de errores como técnicas de resincronización codificador-decodificador ante perdidas de bits, mejor aprovechamiento del ancho de banda disponible, capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes de la red, compatibilidad con otros sistemas, escalabilidad de acceso universal, codificación que incremente el grado de almacenamiento en el terminal, flexibilidad de adaptación a tasas de bits variables, baja complejidad de operación computacional con el fin de evitar incrementos en el consumo de potencia en los terminales. MPEG-4 H.265 es e codificador más utilizado en la actualidad para señales de TVDM ofreciendo el doble de compresión que otras normas, además de cumplir con las características mencionadas anteriormente.

Con respecto a las características y parámetros de un codificador de audio para señales de televisión digital en dispositivos móviles, este debe ofrecer alta calidad de escucha en diferentes ambientes, alta eficiencia y calidad de sonido, reproducción mono, estéreo ó multicast, alto desempeño con anchos de banda restringidos, compatibilidad con otros sistemas de audio y alto nivel de procesamiento procurando bajos niveles de consumo de energía. El estándar MPEG-4 Parte 3 HE-AAC es el más utilizado y el que mayores niveles de calidad de sonido ofrece.

Para mayor información de los métodos utilizados por los estándares de TVDM para el manejo de compresión y codificación de fuentes remitirse a la tabla 11.

**Criterio 2. Se deben Manejar Técnicas Eficientes de Corrección de Errores**

Debido a los problemas que se presentan durante el proceso de transmisión de la señal de TVD hacia teléfonos celulares, como el ruido de impulso, las interferencias, los ecos, entre otros, cada estándar de difusión debe proveer técnicas de corrección de errores para así garantizar que la señal original sea recuperada correctamente en el terminal móvil.

Los celulares, dispositivos a los que va dirigida la señal de TVDM, cuentan con antenas de tamaño reducido y sus condiciones de recepción son críticas, razón por la cual es necesario contar con un sistema de modulación robusto que tenga dentro de sus características la protección frente a errores, además dentro de los factores que más degradan e interfieren con la señal en el canal de transmisión, esta el ruido impulsivo que se encuentra comúnmente en la banda de VHF, aunque en ocasiones afecta la banda UHF que es la más utilizada para la difusión del servicio de TVD a teléfonos celulares. Este tipo de ruido es de tiempos relativamente cortos pero debe ser tenido en cuenta ya que degrada la señal en cuanto a la tasa de datos. El multitrayecto y efecto Doppler, son otros de los factores importantes a evitar por medio de las técnicas de corrección de errores. Es así como los diferentes estándares que transmiten la señal de TVD hacia teléfonos celulares manejan variadas técnicas de codificación de canal y corrección de errores, que se evalúan en la medida de qué tantos bits correctos llegan al dispositivo ante un determinado escenario que ofrezca interferencias.

Para mayor información de las técnicas utilizadas por los estándares de TVDM para la corrección de errores remitirse a la tabla 11.

**Criterio 3. Se debe Configurar un Esquema de Transmisión Robusto y Flexible**

El sistema que se implemente en Colombia debe contar con una modulación robusta y flexible, característica esencial de los sistemas de TVD para teléfonos celulares, que abarca conceptos desde la operación en transmisión, los servicios que ofrece, su recepción y hasta los modelos de negocio que este puede generar. Algunos de los factores que deben ser tenidos en cuenta por el sistema a implementar en el país para lograr la recepción de la señal por parte del terminal son, la alta capacidad de recepción bajo condiciones difíciles de propagación, como en el interior de edificaciones, la movilidad de los usuarios, el multitrayecto, las señales reflejadas, especialmente en entornos urbanos con grandes construcciones que se interponen en el camino de la señal, la capacidad para ofrecer alta eficiencia espectral, la utilización de una baja cantidad de filtros ecualizadores en el receptor y mecanismos que eviten múltiples interferencias.

Debido a todos estos factores la señal TVDM presenta necesidades muy diferentes en comparación a las redes de TVD fija, requiere un esquema de transmisión mucho más robusto y con diversos parámetros de configuración que permita mantener una buena tasa de transmisión de datos en ambientes abiertos o cerrados y/o en condiciones de movilidad típicas de los peatones (aproximadamente 3 Km/h caminando o 120 Km/h máximo dentro de un vehículo) con antenas receptoras de dimensiones reducidas.

El modo de transmisión debe operar con diversos esquemas de modulación, con mecanismos de corrección de errores, con protección frente a interferencias y efectos de desvanecimiento, multitrayecto y Doopler, configurables de acuerdo al tipo de servicio a ofrecer, de la tasa de bits requerida, de la calidad de servicio deseada, de la zona y el porcentaje de cobertura deseado y de las condiciones propias de terreno y área de despliegue. Finalmente, el sistema que se adopte en el país debe tener en cuenta la posibilidad transmitir múltiples señales en un mismo canal, haciendo un uso eficiente del espectro y aumentando la capacidad de la red.

Por otro lado, el sistema debe realizar un manejo adecuado de la SINR, la C/N, la BER y la Tasa de Bit. La calidad de la señal recibida depende de la SINR, que indica el nivel de la señal tras tener que sobrellevar los efectos negativos del sistema. Adicionalmente, la cobertura está determinada por el porcentaje de localizaciones donde la

SINR debe estar por encima de la $SINR_{min}$ que a su vez depende de la relación señal a ruido C/N mínima requerida en el receptor, que depende del modo de transmisión y de la velocidad del móvil. Con la $C/N_{min}$, la figura de ruido, la ganancia de antena, la potencia de ruido, el margen de desvanecimiento y otras perdidas se calcula la potencia minina necesaria en el receptor. Con la potencia mínima de las señales útiles y al dividirla por la potencia de las señales interferentes y el ruido, se determina la SINR en cada punto por donde pasa la señal, por ejemplo, los repetidores. Por esta razón se debe contar con mecanismos para determinar como las señales transmitidas ya sea por los transmisores o repetidores contribuyen a la señal útil o a la creación de interferencias, como las funciones de ponderación, el tiempo de retardo de cada señal presente en el receptor, el tiempo de guarda y el tiempo útil de símbolo, que se encargan de establecer lo anterior. Es importante tener en cuenta que los transmisores y repetidores introducen ruido al sistema, a pesar de que existen otras fuentes, como el ruido impulsivo, lo que tiene efectos negativos sobre la SINR. Un valor aceptable de la SINR se puede conseguir aumentando la potencia de transmisión hasta un límite adecuado, con el fin de no interferir con otros sistemas.

La tasa de error de bit (BER, Bit Error Rate) se encuentra estrechamente ligada tanto a la potencia mínima establecida para recepción por parte del terminal como a las posibles interferencias y ruido existentes dentro del canal de trasmisión. De manera general, la BER se pude disminuir con un aumento de potencia en el trasmisor, pero esto alentaría de forma negativa las interferencias con otras celdas en la misma frecuencia ó las interferencias a canales de frecuencias adyacentes en la misma zona. La tasa de datos por su parte también se especifica en relación a la BER y a la razón de señal a ruido necesaria para lograr la tasa de errores, lo cual determina la cobertura ofrecida por el sistema. Es indispensable que el terminal maneje bajo ruido con el objetivo de no afectar la BER y contrarreste además cualquier tipo de interferencia con el medio de transmisión.

El modo de transmisión OFDM suple a cabalidad las características mencionadas anteriormente, ya que este esquema sumado a las técnicas de corrección de errores ofrece a un determinado sistema efectividad y eficiencia en el cumplimiento del servicio, ofreciendo variadas tasas de codificación de canal y esquemas de modulación para la trasmisión de TVDM. Las principales configuraciones de este esquema de trasmisión orientado a dispositivos móviles celulares se muestran en la tabla 13.

**Tabla 13. Configuración Adecuada del Esquema de Transmisión para TVDM**

| COFDM | |
|---|---|
| **Configuración** | Modo de transmisión múltiples portadoras: 2K(1705), 4K(3409) y 8K(6817) |
| | Mecanismos FEC con relaciones de Código: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8 |
| | Intervalos de guarda (1/4, 1/8 y 1/16) |
| | QPSK, 16QAM |
| | Señales TPS (Señalización y Sincronización) |

Para mayor información de los esquemas de transmisión utilizados por los estándares de TVDM remitirse a la tabla 11.

**Criterio 4. Se deben Asignar Frecuencias en las Bandas IV y/o V de UHF**

Un factor importante para la implementación de la TVDM es la planificación del espectro radioeléctrico para el correcto funcionamiento de esta tecnología en el país. El análisis de los estándares que ofrecen TVD a teléfonos celulares ha arrojado, según las consideraciones técnicas de movilidad, que las bandas IV y V de UHF son las más adecuadas y que por sus características se acomodan idealmente a las necesidades de este servicio. Teniendo en

cuenta la disponibilidad de frecuencias en Colombia, según el plan de utilización de frecuencias establecido por la CNTV, se puede ver que el espectro radioeléctrico se encuentra saturado y puede ser difícil la asignación de los canales más adecuados para la prestación de este servicio, aunque cabe anotar que en el proceso de transición o en el momento en que se presente el apagón analógico en el país, previsto para el 2019, se espera que las frecuencias liberadas por la tecnología saliente puedan ser utilizadas con prioridad para este nuevo servicio. Sin embargo, la CNTV y el Ministerio de Comunicaciones deben realizar el respectivo estudio y análisis de la disponibilidad del espectro radioeléctrico en Colombia para posteriormente hacer la planeación y asignación de frecuencias adecuadas, teniendo en cuenta que lo más aconsejable es ubicar el servicio en una banda definitiva pensando en la inclusión a futuro en el país de nuevos servicios digitales, además de servicios móviles de tercera generación y posteriores. Por otro lado, es importante que la frecuencia de trabajo de TVD en teléfonos celulares para Colombia no interfiera con otros servicios, especialmente con las tecnologías de telefonía móvil, debido a que la convergencia que deben tener estas dos tecnologías en el terminal es de vital importancia para buen desempeño del dispositivo.

**Criterio 5. Se debe Asignar un Ancho de Banda de 6 MHz para cada Canal**

Colombia tiene estipulado que el ancho de banda para cada canal de televisión analógica radiodifundida es de 6 MHz, por lo que muy seguramente la implementación de nuevas modalidades de prestación del servicio de televisión radiodifundida seguirán utilizando este esquema, de lo contrario debería haber una reestructuración en la asignación de canales. Por otro lado, los estándares de TVDM para teléfonos celulares trabajan en su mayoría con 6 MHz, lo que facilita su adaptación al país. Por esta razón, para el entorno colombiano, la opción más viable es trabajar con este ancho de banda.

**Criterio 6. Se debe Implementar Una o Varias SFN**

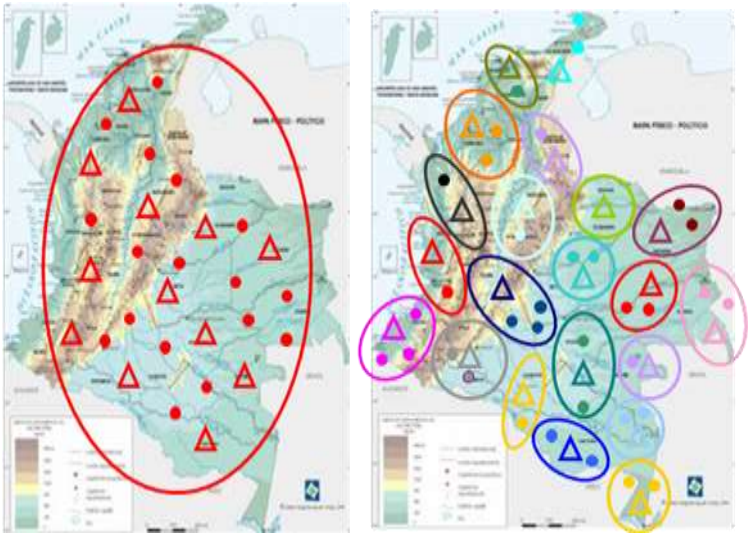
La planificación de red debe buscar una arquitectura óptima que cumpla con las características y las especificaciones planteadas por el país. En principio se debe buscar que la red brinde la mayor cobertura posible minimizando los costos de implementación, teniendo como objetivo primordial ofrecer el servicio a la totalidad del territorio colombiano. Por esta razón, es importante la reutilización de parte de la infraestructura existente de televisión analógica y telefonía móvil, como torres por ejemplo, además de que la naturaleza de la red debe ser *broadcast*, que por sus características permite entregar los contenidos digitales a la totalidad de usuarios que se encuentren dentro del área cubierta por el servicio. Por otro lado, el sistema que se implemente en el país debe ser flexible y presentar robustez frente a la recepción móvil, crítica tanto por su entrega en el interior de edificaciones como por la movilidad de los usuarios. Adicionalmente, debido a la escases de frecuencias del espectro radioeléctrico en Colombia, es importante contar con una red que maneje este inconveniente. Por lo planteado anteriormente la opción más adecuada en el país es implementar SFN, que además de ser flexible en su configuración, permite optimizar la distribución de los canales al liberar frecuencias en las bandas asignadas para televisión, mejorando así la utilización del espectro radioeléctrico y reduciendo en gran medida los costos de implementación. La SFN para TVDM en teléfonos celulares permite en parte la optimización en el uso del espectro radioeléctrico en el sentido de que no utiliza un gran número de canales.

Gracias a la utilización de redes SFN se pueden disminuir las alturas de los transmisores, con lo que se produce un aumento de la inmunidad frente a interferencias. Este tipo de redes son más robustas frente a un fallo de un transmisor, debido a que todos los emisores transmiten sincronizadamente y se produce una suma ponderada en el receptor, por lo que el fallo de un transmisor no produce la pérdida de cobertura en el escenario de despliegue. Al implementar SFN, que se caracteriza por brindar diversidad espacial, se facilita en gran medida la recepción móvil proporcionando así gran homogeneidad de la señal dentro del área de cobertura del servicio. Debido a las condiciones de recepción móvil y para lograr un alto nivel de cobertura, la SFN debe contar con un número elevado de transmisores y/o repetidores, lo que puede aumentar los costos de implementación, pero gracias a la reutilización de infraestructura parte de los mismos se puede evitar, generando además una disminución de costos para los

usuarios y convirtiéndose en un servicio más atractivo para los mismos. Sin embargo, puede que para brindar una cobertura más uniforme se necesiten mas transmisores, pero a una menor potencia que con un solo transmisor. Cabe anotar que a pesar de que es posible utilizar redes compartidas de TDT y TVDM, es preferible utilizar redes dedicadas para la implementación del servicio en teléfonos celulares, pues éstas posibilitan en gran medida la planificación y configuración de la misma en cuanto a cobertura, capacidad, velocidad de transmisión, entre otros, en cuanto a recepción en movilidad se refiere, lo que es imposible de hacer con redes compartidas.

Como se menciono anteriormente, para conseguir niveles de cobertura satisfactorios en interiores y en movilidad se requiere una red con alta densidad de transmisores y/o repetidores, por lo que reutilizar la infraestructura de telecomunicaciones disponible es un aspecto clave para minimizar el costo de despliegue de red. Por tal razón, es importante conocer la historia y evolución en Colombia del servicio de televisión y analizar las características del sistema de televisión analógica radiodifundida que se tiene actualmente, buscando una proyección de integración con la tecnología digital que se adopte en el país. Es importante identificar también los emplazamientos de redes celulares existentes con el propósito de utilizar en lo posible la infraestructura disponible, tal es el caso de las torres existentes para la prestación del servicio de telefonía móvil. Finalmente, cabe anotar que al instalar un transmisor principal en una torre de televisión analógica se requeriría demasiada potencia para dar cobertura al 100% de un área objetivo y debido a la presencia de edificaciones dicha cobertura se ve degradada logrando así un nivel de tan solo el 40% del entorno aproximadamente. Por tal motivo y para alcanzar niveles de cobertura por encima del 90% es necesario contar tanto con el transmisor principal como el despliegue de múltiples transmisores y/o repetidores adicionales para mejorar los inconvenientes causados por las edificaciones en un entorno urbano y más aun para condiciones de recepción en movilidad tanto en interiores como en exteriores.

En la figura 29 se puede ver el ejemplo de una única SFN en el caso de asignarse una única frecuencia en Colombia para TVDM, o varias SFN en el caso de que se asignen frecuencias por regiones.



**a.** **b.**

**Figura 29. Redes de Frecuencia Única. a. SFN Única. b. Múltiples SFN**

**Criterio 7. Se debe Establecer el Número y Ubicación Adecuada de Transmisores y/o Repetidores**

Para lograr una buena cobertura del servicio en el territorio colombiano, la SFN debe contar con los respectivos transmisores y/o repetidores que se encargan de aumentar el nivel de la señal para evitar la degradación de la misma por pérdidas y atenuación. El número adecuado de los mismos, su ubicación y configuración se determinan con un estudio previo de las características de la región donde se desea implementar la red, como el terreno y las edificaciones existentes, además de conocer los emplazamientos disponibles y la estimación de cobertura deseada, consideraciones técnicas que surgen gracias a herramientas de simulación, cartografía del terreno en tercera dimensión (3D) y algoritmos específicos para la optimización de la cobertura minimizando los costos de implementación. Gracias al resultado del estudio, se determinan los puntos más adecuados donde se deben instalar estos equipos y los emplazamientos a reutilizar, para posteriormente proceder a su configuración individual (azimut, tilt, potencia, altura antena, entre otros).

Es importante tener en cuenta las características de los equipos, ya sean transmisores o repetidores, donde los primeros se caracterizan por recibir la señal original en banda base por parte de una red independiente (red digital de cable, RF), para posteriormente modularla, amplificarla y transmitirla al mismo tiempo en la misma frecuencia, gracias a estar sincronizados por un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System). Por su parte, los segundos reciben la señal de determinados emisores de la misma red, ya sea un transmisor o un repetidor, señal que retransmiten en la misma frecuencia tras ser amplificada. Los transmisores ofrecen niveles de cobertura superiores gracias a que tienen la posibilidad de transmitir con potencias mayores, pero su inversión económica es bastante elevada, mientras que los repetidores presentan inversiones menores, además de ser poco complejos en comparación a los transmisores puesto que no cuentan con modulador ni señal GPS y no necesitan una red independiente para recibir la señal, pero al ser elementos realimentados la potencia máxima que pueden transmitir se encuentra limitada, lo que reduce el nivel de cobertura. Los transmisores son más robustos y presentan menos errores, a diferencia de los repetidores que introducen cierta degradación en la señal además de un retardo temporal.

Finalmente, la decisión de utilizar transmisores o repetidores y el número adecuado depende en sí de las características del entrono, el diseño de red respectivo y el costo que conlleva, pero la mejor opción es la utilización de ambos equipos con un arreglo adecuado para optimizar la cobertura en el área de servicio.

En la figura 30 se muestra un transmisor principal y un arreglo de transmisores secundarios y/o repetidores para dar cobertura a un entrono urbano. Cabe anotar que para una SFN todos los elementos transmiten la misma señal a la misma frecuencia.

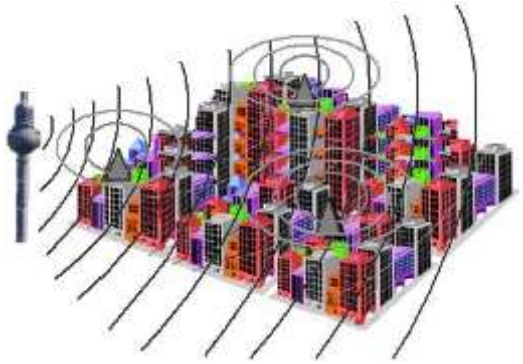


**Figura 30. Transmisor Principal y Arreglo de Múltiples Transmisores Secundarios y/o Repetidores**

**Criterio 8. Se debe Garantizar Cobertura en Interiores y Zonas Oscuras**

El sistema de TVD para recepción en teléfonos celulares a adoptar por parte de Colombia debe garantizar óptimos niveles de cobertura, además de poseer estrategias para mejorar y brindar cobertura en todas las zonas que abarca una determinada celda, incluyendo el interior de las edificaciones e incluso en los bordes de la misma, donde generalmente se presentan desvanecimientos de la señal ó señales muy débiles con bajo nivel de potencia, generándose el termino de zonas oscuras. Este efecto se puede contrarrestar mediante el empleo de una buena técnica de modulación que brinde solidez a la señal, además de considerar el empleo de repetidores que operen en la misma frecuencia de los transmisores de cada celda, comúnmente usados en la implementación de redes SFN, pudiendo complementar así la cobertura en interiores y en zonas vacías mediante estaciones de poca potencia utilizando la misma frecuencia, con lo que la posibilidad de que quede una zona oscura o de sombra es muy baja. Es así como mediante las herramientas de simulación se deben determinar los puntos donde posiblemente el nivel de cobertura sea bajo o nulo, y determinar la ubicación de un repetidor para garantizar la cobertura del servicio en el área establecida.

**Criterio 9. Se deben Manejar Mecanismos Eficientes para Ahorro de Batería**

Para un dispositivo handheld una estimación en cuanto al consumo de batería de la señal en RF y su procesamiento en banda base puede estar por debajo de los 600mW que es un nivel muy alto, además, el promedio y parámetro de consumo de potencia en un dispositivo de telefonía celular que brinde TVDM debe estar rondando los 100 mW, este parámetro es necesario debido a los reducidos diseños de las baterías de los celulares y el alto reto en cuanto a conseguir disipación de calor en estos terminales.

Las tasas requeridas para terminales 3G que reciban señales de TVDM son relativamente pequeñas, del orden de los 384 Kbps usando la técnica de compresión y codificación MPEG-4. Sin embargo, estas tasas aumentan dependiendo del contenido que ofrezcan servicios como los de descarga de archivos, por lo que es necesaria una mayor exigencia en cuanto a flexibilidad del sistema y al ahorro de batería. Ahora bien analizando el servicio prestado por los estándares de TVDM estos ofrecen tasas de datos mucho mayores lo que ocasionaría la descarga de potencia del terminal en minutos.

Actualmente los estándares de TVDM ofrecen técnicas de multiplexación de tiempo de las señales transmitidas al dispositivo para lograr niveles bajos de consumo. Según el análisis realizado en el documento la técnica de Time Slicing es la que mejores niveles de ahorro de potencia ha presentado en comparación con los demás mecanismos utilizados actualmente. Por esta razón, el estándar que se elija en Colombia para la difusión del servicio de TVD para teléfonos celulares en el país debe contar con esta característica como una de sus especificaciones principales. La figura 31 muestra la manera como se maneja el ahorro de batería gracias a las técnicas de transmisión discontínua y a los periodos inactivos del teléfono celular.

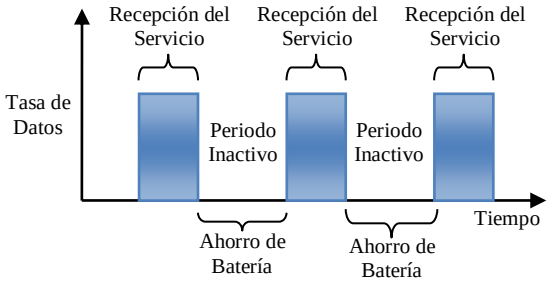



**Figura 31. Ahorro de Batería en una SFN para DVB-H**

Para mayor información de los métodos utilizados por los estándares de TVDM para el ahorro de batería en los terminales remitirse a la tabla 11.

**Criterio 10. Se deben Manejar Mecanismos Eficientes de *Handover***

El manejo del *handover* es una consideración técnica de mucha importancia dentro de la red que se implemente en Colombia, pues este aspecto es el que garantiza y permite la movilidad de los usuarios a través de dicha red. Uno de los problemas que se pueden presentar durante el traspaso del usuario con el terminal a través de celdas es la pérdida de información, que hace referencia a la perdida de parte del flujo de datos mientras se realiza el *handover*. Este problema puede llegar a ser considerable para el usuario cuando éste realiza la descarga de un archivo importante o cuando esta observando algún programa televisivo. Existen dos razones por las cuales se puede presentar la pérdida de información, en primer lugar, por el propio *handover*, donde el terminal no está en capacidad para recibir la señal tanto de la celda en la cual se encuentra o la celda a la cual se dirige. Esto se puede solucionar mediante la optimización y adecuado diseño del traspaso o mediante la adición en el terminal de un segundo receptor, el cual se usaría exclusivamente para el manejo del *handover,* pero aumentaría la complejidad del terminal y por ende el costo del mismo. En segundo lugar, la pérdida de información se puede presentar por problemas en la calidad de la señal en los bordes de las celdas, lo cual ocurre normalmente. Este problema puede ser contrarrestado con técnicas donde el terminal está en capacidad de recibir la señal de dos o más celdas y decidir cual le ofrece una mejor calidad de la señal, técnicas conocidas como *soft handover*, donde el terminal espera a estar enganchado totalmente a la celda que le ofrece mejores prestaciones del servicio en ese momento, para posteriormente desprenderse de la celda anterior y así garantizar el traspaso sin problemas.

Ahora, las MFN utilizan transmisores que difunden la señal en diferentes frecuencias para evitar interferencias, más aun cuando se encuentran en celdas adyacentes. De esta forma cada transmisor forma una celda y por consiguiente se hace necesario el uso del *handover* para el traspaso entre celdas con el fin de no interrumpir la recepción del servicio. Por su parte, una SFN utiliza transmisores que difunden la misma señal en la misma frecuencia formando una única celda, razón por la cual no es necesario el uso del *handover* dentro del área de cobertura de la red. Sin embargo, en un entorno de implementación pueden existir varias SFN, por lo que el manejo del *handover* sería necesario al pasar de una red a otra para no interrumpir el servicio. Debido a factores de reglamentación, el uso de una misma frecuencia para la prestación de un servicio en la totalidad de un entorno de implementación no es posible, por lo que la utilización de varias SFN se hace necesaria. Adicionalmente, una SFN evita en gran medida las dos razones de pérdida de información que se pueden presentar. Por ejemplo, al existir una única celda en cada SFN se evita el traspaso constante entre celdas como sucede en una MFN, y para el caso de los bordes de la celda donde se debilita la señal, gracias a la implementación de múltiples transmisores y/o repetidores, si el móvil recibe dos o mas señales, este las sincroniza y combina utilizando diferentes técnicas, aumentando la calidad de la señal recibida. Las zonas donde se recibe señal de dos o más transmisores se denominan zonas con ganancia SFN, y tienen un notable aumento en la calidad de la señal recibida.

Como se menciono anteriormente, es posible que durante el *handover* parte o la totalidad de la información pueda perderse, por lo que el estándar debe manejar métodos para evitarlo. Tal es el caso de la transmisión discontínua donde la información es transmitida en ciertos periodos de tiempo, que en principio es utilizada para el ahorro de la batería del teléfono celular, pero que también es usada para llevar a cabo el *handover*. Los momentos en los que el terminal se encuentra en estado o periodo inactivo son aprovechados para escanear las señales provenientes de otros transmisores y/o repetidores, para determinar cual le brinda el mejor nivel de recepción. Es importante tener en cuenta que en el momento en que se lleve a cabo el traspaso de celda tanto la señal actual como la señal futura deben estar en el periodo inactivo, ya que de no ser así parte de la información recibida en la nueva celda podría perderse. Para garantizar que no haya pérdida en la información las dos señales deben estar sincronizadas para transmitir la ráfaga del flujo de datos al mismo tiempo, permitiendo así que las señales sean transmitidas a las celdas adyacentes en el momento adecuado.

En la figura 32 se pueden ver los momentos donde es posible realizar el *handover*.

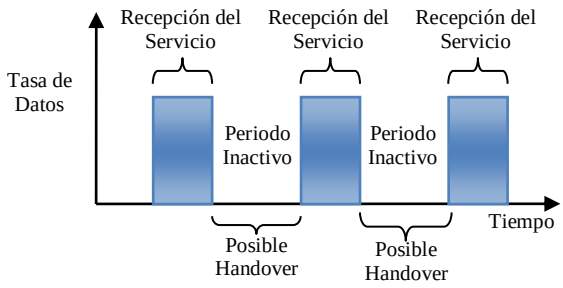



**Figura 32. Mecanismos de *Handover***

Como se puede ver, gracias a la implementación de SFN el manejo del *handover* en parte puede ser un poco más sencillo comparado a una MFN, y las técnicas de transmisión discontínua son una herramienta eficaz para el manejo del traspaso entre celdas, en concreto entre redes SFN. En definitiva, es importante que el estándar elegido en el país cuente con esta característica o con la técnica adecuada para cumplir con esta consideración.

Para mayor información de los métodos utilizados por los estándares de TVDM para el manejo del *handover* remitirse a la tabla 11.

**Criterio 11. Se debe Manejar la Convergencia de la Televisión Digital Móvil y la Telefonía Móvil en el Teléfono Celular**

Para la recepción tanto de TVDM como de telefonía móvil en el teléfono celular es indispensable que el estándar elegido en Colombia maneje técnicas para evitar algún tipo de interferencia entre las frecuencias de trabajo de dichas tecnologías, además de la necesidad de contar con un único terminal que soporte las mismas. Debido a que los operadores de telefonía móvil existentes en Colombia (TIGO, COMCEL y Movistar) trabajan en frecuencias diferentes para las respectivas tecnologías de acceso que manejan, el estándar a elegir en el país debe ser capaz de manejar las frecuencias utilizadas tanto por la TVDM como por las tecnologías de acceso a telefonía móvil, es decir, el terminal debe estar en capacidad de trabajar con ambas frecuencias sin presentar interferencia.

TIGO trabaja en 1900 MHz para GSM/GPRS (2.5G) y en la misma frecuencia para UMTS/HSDPA (3.5G). Por su parte, COMCEL trabaja en 850 MHz y 1900 MHz para GSM/GPRS (2.5G), y en 850 MHz para UMTS/HSDPA (3.5G). Finalmente, Movistar trabaja en 850 MHz y 1900 MHz para GSM/GPRS (2.5G), y en 850 MHz para UMTS/HSDPA (3.5G). Por su parte, las bandas más utilizadas por los estándares de TVDM son la IV y la V de UHF comprendidas entre 470 MHz y 862 MHz. Teniendo en cuenta las frecuencias de trabajo de las tecnologías, el estándar de TVDM que se elija en Colombia debe ser compatible con éstas en el terminal, para garantizar su óptimo funcionamiento y adaptarse a las condiciones técnicas en este sentido. El mayor problema de interferencia se presenta para las tecnologías de acceso que trabajan en 850 MHz debido a la poca separación de canales con la TVDM tanto en transmisión como en recepción, donde la solución más adecuada es filtrar a la entrada del receptor de TVDM la banda de la tecnología de acceso respectiva. Por otro lado es importante manejar aislamiento entre antenas de TVDM y de telefonía móvil en el caso de estar ubicadas en la misma torre del emplazamiento celular, para evitar en igual medida cualquier tipo de interferencias entre frecuencias. Los fenómenos interferentes que se pueden producir entre los distintos sistemas pueden ser de distintos tipos, por ejemplo, emisiones espúreas, productos de intermodulación y bloqueo, entre otros.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta el manejo adecuado de la potencia de transmisión para evitar interferencias y para estar dentro del rango aceptable del receptor. En este sentido a pesar de las atenuaciones y pérdidas que se

puedan presentar en la señal a lo largo del camino de comunicación, el sistema debe garantizar que la señal mantenga un nivel aceptable para su respectiva recepción por parte del terminal, de forma que el nivel de potencia se encuentre dentro de los rangos establecidos por este. Por esta razón, tanto la potencia pico como la potencia promedio son parámetros a tener en cuenta, donde la segunda determina el rango de la primera para lograr la recepción óptima de la señal, teniendo en cuenta no sobrepasar el valor máximo permitido, pues podría dañar el receptor, ni estar por debajo de lo establecido, ya que la señal original podría degradarse por el aumento de la BER, convirtiéndose en una señal de baja calidad, o en su defecto, no ser recibida por parte del terminal. Adicionalmente, el manejo adecuado de la potencia es de vital importancia para evitar cualquier tipo de interferencia con otros servicios en general, además de ser necesaria una predicción del nivel de potencia recibida de cada uno de los trasmisores y repetidores para determinar como contribuye cada uno a la señal útil o a interferencias.

**Criterio 12. Se debe Manejar una Adecuada Asociación de la Red de Difusión de Televisión Digital Móvil y la Red de Telefonía Móvil**

En principio es muy probable que la inclusión de la Televisión Digital en la Telefonía Móvil en Colombia le apueste al ofrecimiento de este servicio en forma gratuita para los usuarios, brindando contenidos de los canales abiertos, pero no se debe descartar a futuro la posibilidad de incluir servicios interactivos que permitan al televidente la opción de interactuar con un operador, teniendo en cuenta que este tipo de servicios ampliarán las posibilidades de negocios y beneficiarán a los clientes por aplicaciones no solo de entretenimiento, sino de educación, información y un sin número de posibilidades.

El respectivo estándar de difusión de TVDM que se elija debe ser compatible con las tecnologías de telefonía móvil existentes en Colombia, esto para implementar óptimamente el servicio en el país. Esta compatibilidad se logra a nivel de aplicación, estableciendo una plataforma común en el móvil, que permita al usuario enviar solicitudes por la red de telefonía móvil, y recibir la mayor parte de contenidos por la red de difusión y los personalizados por la de telefonía. Adicional a lo anterior, los estándares de difusión se enfocan principalmente en la transmisión y recepción de la señal de TVDM, pero en el momento en que se desee ofrecer servicios interactivos se debe pensar en una relación con las redes de telefonía móvil y por consiguiente, establecer un modelo de negocio para tal objetivo. Por esta razón, en Colombia se debe pensar en la creación de dicho modelo ya sea a corto o mediano plazo, teniendo en cuenta los diferentes actores que harían parte del mismo y adicionalmente que por la naturaleza *broadcast* de la red de difusión y *multicast* de la red celular, se debe implementar un sistema conjunto entre estas dos redes de tipo *Broadcast – Multicast* para interactividad, soportando además la transmisión *unicast* para casos particulares.

El modelo de negocio más apto para TVDM en Colombia es aquel que es gestionado por un operador de telefonía móvil, donde este se encarga de gestionar la atención directa con el cliente, lo que se facilita en gran medida gracias al mercado que posee actualmente. Adicionalmente, gracias al manejo constante que debe hacer de los usuarios le da la posibilidad de incluir la TVDM como un servicio adicional para ofrecer a los mismos, además de continuar con el mismo modelo de mercadeo que maneja para los servicios tradicionales. Además, el método de facturación que utiliza gracias a la red celular facilita el cobro de los costos respectivos por el uso de los servicios por parte de los usuarios. Cabe anotar que en principio el operador de telefonía móvil puede ofrecer contenidos TVDM a un número determinado de usuarios y se puede apoyar en la red de difusión para brindar algún tipo de servicio o servicios a la totalidad de clientes en un área de cobertura dada. Es posible también que pueda adquirir la licencia para el uso de frecuencias o de lo contrario pagar al operador de la red de difusión por el alquiler de la misma. El contenido lo debe pagar a cualquier tipo de proveedor. En este modelo de negocio el usuario tiene acceso a servicios integrados y solo debe entenderse con el operador de la red de telefonía móvil, lo que favorece en gran medida este modelo ya que difícilmente el usuario estaría dispuesto a tener que pagar a diferentes proveedores por los diferentes servicios. En este caso también el radiodifusor es el encargado de la comercialización de los programas mientras que el operador de telefonía móvil sería el encargado de la facturación y el mercadeo del servicio, además de que los ingresos generados por los servicios conjuntos son compartidos. Por otro lado, el operador de la red, que para Colombia

normalmente es el mismo radiodifusor obtiene beneficios por la publicidad que se muestra en los contenidos televisivos.

El operador de la red de telefonía móvil debe incurrir en gastos como el pago al operador de la red de difusión por la puesta en marcha y mantenimiento de la misma, y debe pagar por el contenido televisivo. Finalmente, el operador es quien tiene el control sobre los receptores móviles, en este caso los teléfonos celulares, y debe buscar estrategias para el subsidio de los mismos y lograr así la compra de estos por parte de los usuarios.

En la figura 33 se expone un posible modelo de negocio para Colombia, lo que quiere decir que no es el único, modelo que se basa respecto al descrito en el literal 3.8.4.2.

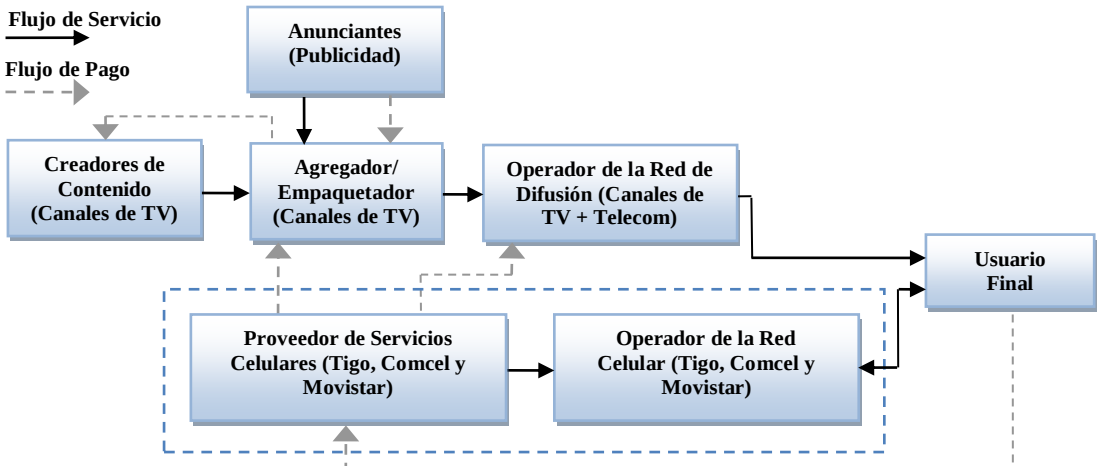



**Figura 33. Modelo de Negocio de Televisión Digital Móvil en Teléfonos Celulares para Colombia**

Dentro del operador de la red de telefonía móvil y el proveedor de servicios celulares se encuentran TIGO, COMCEL y MOVISTAR que serían los encargados de gestionar el modelo de negocio y cada uno estaría en capacidad de ofrecer sus propios paquetes de programación a los usuarios y establecer una relación con el operador de la red de difusión y con los proveedores de contenido, que para el caso colombiano normalmente son el mismo radiodifusor, en este caso los canales de televisión. Es así como dentro de la red de difusión *broadcast* se encuentran los diferentes canales de televisión existentes en Colombia, los cuales entrarían en negociación con el operador de la red celular para determinar si establecen o no un modelo de negocio. Finalmente se encuentra el cliente quien gozaría de los diversos servicios ofrecidos por la plataforma conjunta establecida por los demás actores mencionados anteriormente. Cabe mencionar que el usuario deberá pagar el costo respectivo por el uso de dichos servicios.

**Criterio 13. Se debe Elegir el Estándar de Televisión Digital Móvil más Adecuado para Colombia**

Es indispensable iniciar en Colombia el proceso de implementación de la TVD para teléfonos celulares con el estudio previo de la tecnología como tal, para saber todos los puntos que conlleva su adopción. Por tal motivo, es necesaria la creación de diversos comités de estudio conformados por autoridades del gobierno, diferentes operadores públicos y privados, fabricantes de dispositivos, diversos proveedores de servicios, y en general todos aquellos interesados en formar parte de este proceso. Cada uno de los entes involucrados debe capacitarse en todos los temas relacionados con la inclusión de esta tecnología, lo que permitirá abordar el tema con pertenencia y determinar las consideraciones técnicas a tener en cuenta para la implementación óptima de la misma en el país.

Para la inclusión de la TVD para teléfonos celulares en Colombia, es necesario realizar un estudio no solo en el área técnica, sino también en la socioeconómica, sociocultural, regulatoria y jurídica, estudio con el cual se debe elegir el

estándar que más se adapte a las necesidades del país, buscando un beneficio común y no particular. Es por eso que en el estudio previo a la elección del estándar, los tres puntos adicionales planteados anteriormente deben ser tenidos en cuenta y ver como cada uno satisface las necesidades particulares de cada área en Colombia, verificando que suplan con las necesidades respectivas. De esta forma se busca el complemento más adecuado, que da como resultado el estándar más apropiado para el país. Para el caso del estudio técnico, este Trabajo de Grado puede ser una herramienta importante para determinar las consideraciones técnicas más importantes a tener en cuenta para la implementación de la TVDM en el país.

Es importante conocer cuales son los diferentes estándares de TVD desarrollados para la recepción del servicio en receptores portables, específicamente en teléfonos celulares, y deben ser estudiados en detalle para conocer sus respectivas características y especificaciones. Posteriormente, se deben realizar demostraciones y pruebas de propagación con los diferentes estándares bajo ciertas situaciones operativas, por ejemplo, en movilidad y en el interior de edificaciones, analizar los resultados de dichas pruebas y determinar cual de ellos se comporta mejor técnicamente frente a las características del entorno colombiano y que suple de mejor manera las condiciones y necesidades del país, teniendo en cuenta los diversos parámetros establecidos como prioritarios. Finalmente, al contar con las pruebas técnicas necesarias y los resultados de los estudios de las diferentes áreas, el país debe tomar la decisión del estándar que se adoptará pensando siempre en el beneficio general de la sociedad colombiana y de todos los actores involucrados con la tecnología.

**Nota:** La manera más adecuada de validar los criterios técnicos planteados es realizar pruebas técnicas reales o en su defecto obtener resultados gracias a herramientas de simulación y diseño para sistemas de TVDM. A pesar de que lo anterior no es un objetivo de este Trabajo de Grado, se obtuvieron algunos resultados con una herramienta de simulación facilitada por la Universidad Politécnica de Valencia en España y se deja abierta la posibilidad para un trabajo futuro. Para mayor información acerca de dichos resultados remitirse al anexo G.

## 4.2 VIABILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TELEVISÓN DIGITAL MÓVIL PARA COLOMBIA

Teniendo en cuenta la adaptación al entorno colombiano de los cuatro estándares presentados anteriormente, se puede ver que DVB-H y MediaFLO son los que suplen en mayor medida las especificaciones del país y presentan la adaptación más alta al entorno colombiano y por ende la viabilidad para ser adoptados en Colombia. A pesar de que ambas normas no presentan diferencias técnicas significativas, el punto a favor de DVB-H, además de ser un estándar bastante robusto, es ser abierto, que lo convierte en la norma más aceptada y apoyada a nivel mundial por parte de las empresas del sector y adoptada por la mayoría de países. Por tal motivo y gracias al estudio de los diferentes estándares con su respectiva comparación, se puede ver que DVB-H se presenta como la mejor opción para implementar la TVDM en Colombia. Es por esto que en este Trabajo de Grado se propone a DVB-H como el estándar más sólido y que suple en mayor medida las necesidades técnicas del país, por lo que se recomienda su adopción para la implementación de esta tecnología. Por esta razón, es importante saber como éste estándar suple los diferentes criterios técnicos planteados anteriormente y así determinar la viabilidad técnica de la implementación de esta tecnología en Colombia, tal como se expone a continuación:

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 1:** Este estándar ha adoptado la norma MPEG-4 Parte 10 H.264 AVG como estándar de codificación y compresión de los datos de video que ingresan al sistema, al igual que la Parte 3 del mismo estándar para el audio. Es por esto que ofrece altos niveles de eficiencia, permitiendo el uso de un menor ancho de banda y aumentando el número de canales para una trasmisión de TVD a teléfonos celulares. Por esta razón, DVB-H suple satisfactoriamente este criterio.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 2:** Debido a esto la técnica de codificación de canal y corrección de errores MPE-FEC adoptado por el estándar DVB-H brinda altos niveles de eficiencia espectral y C/N,

incrementado la tolerancia al ruido impulsivo, ofreciendo los mayores niveles de transmisión de datos en comparación con otros estándares, su compensación ante efecto Doppler es de 100 Hz y los algoritmos de aleatorización de bits de MPE-FEC permiten mayores niveles de recepción, aun en condiciones de multitrayecto.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 3:** El esquema de transmisión COFDM ofrecido por DVB-H es el sistema más robusto y flexible en comparación con los otros sistemas, permitiendo diversas posibilidades de configuración adaptable a todo tipo de terreno. COFDM con su adición del modo 4K y soporte de los mecanismos MPE-FEC (corrección de errores) y Time Slicing (ahorro de batería y Handover) le brindan a la transmisión de la señal seguridad y efectividad en entornos hostiles, de reflexiones fuertes, ruido intenso generado por el hombre, interferencia cocanal, interferencia de canal adyacente, además de tolerar señales con retardo, implementación de redes SFN, interferencias de banda angosta, todo lo anterior a altos niveles de movilidad.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 4:** DVB-H tiene un desempeño óptimo en UHF para TVDM en teléfonos celulares, especialmente en las bandas IV y V de UHF en el rango de frecuencias comprendido entre 470 y 860 MHz. Además, ofrece mecanismos para permitir la operabilidad de frecuencias entre TVDM y las tecnologías de acceso de telefonía móvil, evitando algún tipo de interferencias entre los servicios ofrecidos por cada una de estas tecnologías. Por consiguiente, DVB-H suple satisfactoriamente este criterio.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 5:** Dentro de sus características, DVB-H puede ser usado para trabajar en un ancho de banda de 5, 6 7 u 8 MHz, presentando altos niveles de funcionamiento para cada uno de estos casos, razón por la cual es posible configurar el estándar exclusivamente en 6 MHz, adaptándose perfectamente a esta consideración para el país. Por tal motivo, DVB-H suple satisfactoriamente este criterio.

- **Consideración de DVB-H para el estándar 6:** El estándar DVB-H permite el establecimiento y configuración de redes dedicadas formadas por muchas áreas de SFN, cada una de las cuales utiliza una única frecuencia de transmisión, donde el tamaño máximo de cada área depende del modo de transmisión elegido (modo 2k, 4k u 8k), del intervalo de guarda y de las características geográficas del país. Adicionalmente, DVB-H se favorece de la reutilización de infraestructura existente tanto de televisión analógica radiodifundida como de telefonía móvil, pero al tener una configuración con redes dedicadas, dicha reutilización se ve reducida al uso exclusivo de torres de transmisión para la ubicación de los equipos. Por las razones mencionadas anteriormente, DVB-H suple satisfactoriamente este criterio.

  Debido a la reciente elección del estándar DVB-T en Colombia, el análisis previo para realizar la planificación de una red de difusión de TVDM con DVB-H debe en primer lugar elegir una de las dos configuraciones de red posibles. La primera es la implementación de una red compartida DVB-T/H y la segunda es la implementación de una red dedicada DVB-H. En redes compartidas se utiliza el mismo multiplexor y por tanto la capacidad total del canal radioeléctrico. Para la configuración de una red compartida con DVB-T, aunque es la forma de implementación más inmediata puesto que no es necesario ningún equipamiento adicional salvo el modulador DVB-H, simplemente se dedica parte de la capacidad de un canal radioeléctrico DVB-T para transmitir contenido DVB-H. El principal problema es que el modo de transmisión es único (si no se emplea modulación jerárquica), y todo el contenido DVB-T y DVB-H es transmitido en el mismo flujo de transporte. Como las redes DVB-T están diseñadas principalmente para recepción fija con antenas en el exterior de edificaciones y tamaños de celda muy grades, el nivel de cobertura de la señal DVB-H para teléfonos celulares se verá drásticamente reducido, especialmente en interiores y a altas velocidades (teléfonos celulares en vehículos). La segunda configuración, que hace referencia a una red dedicada, requiere de un canal radioeléctrico específico para DVB-H, beneficiándose de las novedades incluidas en su capa física, como el modo 4 K, el *Time Slicing*, el MPE-FEC y entrelazadores adicionales. Además la ventaja más importante es la posibilidad de planificar el despliegue de la

red DVB-H para la capacidad, cobertura y velocidades deseadas sin ninguna restricción de DVB-T. Por tal motivo esta es la alternativa que se propone en este documento para la implementación de TVDM en Colombia.

La elección del modo de transmisión de DVB-H viene determinada por la elección de parámetros como el tamaño de la FFT, el intervalo de guarda relativo, la modulación, la tasa de codificación de la capa física y la codificación MPE-FEC. El tamaño de la FFT (8K, 4K o 2K) determina el número de portadoras OFDM y a su vez la separación en frecuencia entre portadoras y el periodo útil de símbolo. El tamaño de la FFT no influye en la capacidad del sistema sino en la velocidad máxima soportada por el sistema y el tamaño de celda en una SFN. El modo 2K proporciona las mayores velocidades, mientras que el modo 8K proporciona los mayores tamaños de celdas. El tamaño de la FFT, junto al intervalo de guarda relativo, establece el intervalo de guarda absoluto, que tiene una duración de 1/4, 1/8 ó 1/16 del periodo útil de símbolo. La elección del intervalo de guarda es un compromiso entre capacidad y el tamaño de celda en una SFN. La modulación de señales de TVDM se pude realizar por medio de QPSK ó 16-QAM, la tasa de codificación es de 1/2 ó 2/3 y la tasa de codificación MPE-FEC representa el clásico compromiso entre robustez (en términos de mínima relación portadora a ruido o CNR) y capacidad del sistema.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 7:** El diseño de una red DVB-H incluye un gran número de transmisores sincronizados y/o repetidores de baja potencia que pueden ser ubicados reutilizando la infraestructura existente en Colombia tanto para televisión analógica radiodifundida como para telefonía móvil. DVB-H puede utilizar cualquier herramienta de diseño y simulación para determinar la cantidad y ubicación de emplazamientos y así ofrecer el nivel de cobertura establecido, por ejemplo, la herramientas como atoll y radioGIS permite establecer los diferentes parámetros de configuración de la red DVB-H en una zona específica, como la potencia de transmisión, tilt y azimut de antenas, entre otros, para lo cual es necesario contar con mapas digitales de curvas de nivel, alturas de edificaciones (POT, Plan de Ordenamiento Territorial), la clasificación por zonas de la región (urbanas, urbanas densas, suburbanas y rurales). DVB-H además utiliza algoritmos genéticos para optimizar la cobertura al mínimo costo de implementación. De esta manera, DVB-H suple satisfactoriamente este criterio.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 8:** DVB-H posee un esquema de transmisión robusto como OFDM que permite adaptarse a las condiciones del entorno y que junto a modulaciones como QPSK y 16QAM permiten que la señal sea sólida y de óptima calidad. Adicionalmente, para el establecimiento de una red SFN este estándar permite el uso de una cantidad elevada de repetidores para garantizar la cobertura del servicio tanto en el interior de edificaciones como en aquellas zonas donde la señal difícilmente puede ser recepcionada por parte del terminal, como en la frontera de las celdas. Por esta razón DVB-H suple satisfactoriamente este criterio.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 9:** El estándar DVB-H para ofrecer TVD en teléfonos celulares ha implementado el mecanismo de *time slicing*, reduciendo el promedio de consumo de batería del terminal, permitiéndole al sistema ofrecer tasas de transmisión del orden de 10 Mbps ó más. El *time slicing* envía datos en ráfagas, transmitiendo elevados niveles de datos, tal como si estos se enviaran continuamente con mecanismos tradicionales de *streaming*. El consumo de batería con *time slicing* depende de su ciclo de trabajo, donde el nivel de este ciclo para DVB-H es del 10 % del tiempo, brindando ahorros de batería de hasta un 95 % en comparación con otros métodos usados por los estándares de TVDM.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 10:** Este estándar maneja la técnica de *time slicing* que se caracteriza por hacer transmisión discontínua de ráfagas de información, donde el terminal utiliza los tiempos inactivos para escanear las frecuencias y de ser necesario realizar el respectivo traspaso. Cabe mencionar que este es uno de los métodos más robustos que garantiza la continuidad del servicio y con un punto importante a favor como lo es la transparencia del manejo del *handover* frente al usuario. Por lo mencionado anteriormente, DVB-H suple satisfactoriamente este criterio.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 11:** DVB-H permite la convergencia de la TVDM y la telefonía móvil en el mismo terminal, en este caso el teléfono celular y maneja técnicas para evitar cualquier tipo de interferencia con las frecuencias de trabajo propias y de las tecnologías de acceso a telefonía móvil. De esta forma, se pueden establecer modelos de negocio gracias a compatibilidad de las dos tecnologías en el teléfono celular. Además, el usuario puede recibir los diferentes servicios en el mismo receptor y con la tranquilidad de recibir los mismos en forma óptima. De esta forma, DVB-H cumple satisfactoriamente con este criterio.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 12:** Dentro de sus características, DVB-H tiene estipulado el establecimiento de modelos de negocio con los diferentes actores involucrados con la TVDM, en parte gracias a ser un estándar abierto y contar con el apoyo y soporte de las principales empresas del medio, las cuales se encuentran desplegadas a nivel mundial. De esta forma se puede establecer una plataforma conjunta con la red celular para ofrecer diversos servicios interactivos y favorecerse de esta red como canal de retorno. Al establecer un determinado modelo de negocio, la cadena de valor de esta tecnología se ve favorecida y ayuda a la optimización tanto de los servicios y contenidos, como de los costos en los que debe incurrir cada actor de la cadena de valor.

- **Consideración de DVB-H para el Criterio 13:** A lo largo del estudio de la TVDM en este Trabajo de Grado se puede ver que DVB-H es un estándar sólido que satisface en gran medida las necesidades técnicas de Colombia, razón por la cual se consolida como un sistema robusto que puede posicionarse como la mejor opción en el país para el desarrollo de esta tecnología. Adicionalmente, gracias a la elección en Colombia del estándar DVB-T, se abre la posibilidad de que DVB-H sea escogido como la norma para difusión de la señal a dispositivos móviles, especialmente a teléfonos celulares, gracias a que este estándar puede trabajar conjuntamente con la norma terrestre compartiendo gran parte de la infraestructura, reduciendo así los costos de implementación. Seguramente en el país se inicie bajo este modelo para ofrecer en forma abierta la gran variedad de contenidos televisivos que puede brindar esta tecnología a los diferentes usuarios. Sin embargo, es de gran importancia la implementación de redes dedicadas para el desarrollo futuro de esta tecnología debido a que las condiciones de recepción son más severas en movilidad y en el interior de edificaciones, razón por la cual el sistema debe ser configurado especialmente para este tipo de entorno, lo que en parte se ve limitado al trabajar sobre la plataforma de DVB-T, más aun en el momento de establecer modelos de negocio donde la tecnología se establece para ofrecer los diferentes servicios específicamente a dispositivos portables como el teléfono celular.

  Una de las grandes ventajas de DVB-H es ser un estándar abierto, que da la posibilidad a los diferentes fabricantes de terminales para incluir la tecnología en estos dispositivos sin pagar ningún costo, lo que además facilita y ayuda en la innovación de los diferentes servicios que puede ofrecer esta tecnología brindando a los usuarios la posibilidad de tener acceso a una gran oferta de opciones en cuanto a contenidos se refiere. Al ser un estándar abierto los costos en general disminuyen favoreciendo a todos los actores involucrados con la tecnología, especialmente a los usuarios que son aquellos que harán uso de los diferentes servicios. Por otro lado, DVB-H es el estándar de TVDM que más apoyo internacional posee al ser respaldado por más de 270 compañías del sector y ha sido aprobada en más de 35 países alrededor del mundo, lo que significa un gran soporte para los países que adopten la norma.

  Técnicamente DVB-H suple tres necesidades básicas de los teléfonos celulares para la recepción de TVDM, como el ahorro de batería en el terminal, la robustez de la señal frente a errores y un esquema de búsqueda y traspaso entre celdas conocido como *handover*. Adicionalmente, trabaja en la banda UHF que mundialmente es reservada para objetivos de difusión, maneja mecanismos para la convergencia en el mismo teléfono celular tanto del estándar de TVDM como las tecnologías de acceso a telefonía móvil, evitando así algún tipo de interferencia. Adicional a esto, DVB-H tiene dentro de sus características la posibilidad de establecer modelos de

negocio entre los diferentes actores involucrados con la tecnología, favoreciendo así el acceso a redes de difusión y redes de telefonía móvil a través de un mismo terminal y posibilitando el acceso a servicios interactivos. Por otro lado, este estándar posee un gran ancho de banda por medio del cual puede ofrecer una amplia gama de servicios de alta calidad. Finalmente, DVB-H puede ser configurado para trabajar óptimamente en entornos geográficos accidentados como es el caso de Colombia, por lo que su desempeño es favorable en estas condiciones.

La tabla 14 muestra un resumen que indica si DVB-H cumple o no con cada uno de los criterios planteados y como suple cada uno de los mismos, estándar recomendado en este Trabajo de Grado para la implementación de TVDM en Colombia.

**Tabla 14. Consideraciones de DVB-H para suplir los Criterios Técnicos Planteados**

| CONSIDERACIONES DE DVB-H RESPECTO A LOS CRITERIOS TÉCNICOS PLANTEADOS | | |
|---|---|---|
| **CRITERIO** | **CUMPLE** | **COMO LO CUMPLE** |
| 1. Manejo Adecuado de Compresión y Codificación | ✓ | Estándar MPEG-4 |
| 2. Esquema de Transmisión Robusto y Flexible | ✓ | COFDM |
| 3. Técnicas de corrección de Errores | ✓ | MPE-FEC |
| 4. Ahorro de Batería en los Teléfonos Celulares | ✓ | TIME SLICING |
| 5. Asignación en las Bandas IV y/o V de UHF | ✓ | UHF (470-702) MHz |
| 6. Utilización de un BW de 6 MHz para cada Canal | ✓ | 6MHz |
| 7. Implantación de SFN | ✓ | SFN / MFN |
| 8. Número y Ubicación de Transmisores - Repetidores | ✓ | Transmisores Primarios Transmisores Secundario Repetidores |
| 9. Cobertura en Interiores y Zonas Oscuras | ✓ | Repetidores |
| 10. Manejo de *Handover* en la Red | ✓ | TIME SLICING |
| 11. TVDM y Telefonía Móvil en el Teléfono Celular | ✓ | Técnicas de Filtraje |
| 12. Asociación Red de Difusión de TVDM y Red Celular | ✓ | Permite la creación de modelos de negocios |
| 13. Definición del Estándar de TVDM | ✓ | Cumple con todos los criterios anteriores y se adapta técnicamente al Caso Colombiano |

Por lo planteado anteriormente se concluye que DVB-H suple satisfactoriamente con los criterios técnicos planteados, lo que confirma la alta viabilidad de ser adoptado en Colombia para la implementación de TVDM. Por otro lado, el gran respaldo por parte de las diferentes empresas del medio (fabricantes de los teléfonos celulares que soportan tanto el estándar como las tecnologías de acceso a telefonía móvil) a DVB-H, presentes en Colombia y que además son reconocidas a nivel mundial, permiten aumentar las posibilidades de negocios en el área y un mayor acceso por parte de los usuarios a los diferentes servicios ofrecidos por esta tecnología. Adicionalmente, al ser un estándar abierto, DVB-H dará la posibilidad al país de ofrecer contenidos de TVDM de forma gratuita. La elección en

Colombia de DVB-T como estándar de TDT y al pertenecer al mismo grupo desarrollador de DVB-H abre las posibilidades para que este último sea adoptado en el país para ofrecer el servicio.

De esta forma se puede ver que la TVDM tiene una viabilidad técnica muy alta de ser implementada en Colombia, además de que el país ya incursionó en el mundo de la TVD por lo que muy seguramente tiene dentro de sus objetivos incluir esta tecnología para teléfonos celulares abriendo las puertas a un negocio muy prometedor para el mercado.

# 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

- Los estándares de TVDM pueden ser escogidos e implementados independientemente de la norma de TDT escogida en Colombia, ya que son tecnologías autónomas y aunque en algunas ocasiones pueden compartir infraestructura (siempre y cuando pertenezcan al mismo grupo desarrollador), se determinó que para un mejor aprovechamiento de ambos sistemas es recomendable que cada uno utilice sus propios recursos de implementación.

- La convergencia de la TVDM y la telefonía móvil en un mismo terminal, como lo es el caso del teléfono celular, implica un estudio previo del manejo que se debe dar en el dispositivo por medio de técnicas y métodos adecuados, como la adición de filtros, para evitar las posibles interferencias causadas por el manejo de canales adyacentes por parte de las dos tecnologías, razón por la cual es importante que cada estándar incluya dentro de sus características el evitar este inconveniente. De no ser así, sería necesario contar con un terminal por separado para la recepción de los servicios ofrecidos por cada tecnología.

- El estándar de compresión y codificación MPEG-4 es la mejor opción en el proceso de digitalización de las señales de video y audio para lograr el acceso radiodifundido a teléfonos celulares por parte de un estándar de TVDM, ya que posibilita un mejor uso del espectro y alta trasmisión de datos con pocos errores de trasmisión debido a su gran soporte en cuanto a mecanismos de codificación de canal.

- Las interferencias de ruido, multitrayectoria y efecto Doppler son las principales fuentes de interferencia y degradación de la señal en el canal de trasmisión. El mecanismo MPE-FEC del estándar DVB-H ofrece los mejores niveles de corrección de errores frente a este tipo de degradaciones, consiguiendo además tasas totales de transferencia de hasta 23.7 Mbps, superiores a las de otros estándares.

- El esquema de transmisión OFDM es la mejor técnica utilizada para modular señales de TVD orientada a teléfonos celulares, ya que brinda al sistema la posibilidad de ser configurado según las necesidades geográficas de cada región y las especificaciones del entorno. Según el servicio o la calidad de imagen a transmitir, SDTV para este tipo de terminales, OFDM provee variedades de tasas de datos, además de soportar diversas codificaciones de canal, convirtiéndolo en el esquema con mayor flexibilidad y robustez.

- El análisis comparativo del estudio realizado arrojó que el estándar DVB-H es el estándar que más economías de escala presenta con respecto a sistemas similares, ya que desde el punto de vista de los terminales, las empresas que los producen para este estándar son las mas importantes a nivel mundial y las que mayor mercado tienen en Latinoamérica, lo que representa mejores convenios en cuanto a convergencia y compatibilidad de tecnologías para Colombia.

- Básicamente todos los estándares de TVDM poseen consideraciones técnicas óptimas para operar en Colombia, donde una de sus grandes ventajas es la de contar con esquemas de transmisión OFDM, que permite adecuar el sistema independientemente del escenario en el que se desee trabajar, por lo que un factor con el que se puede descartar técnicamente un sistema con respecto a otro se da en cuanto a la convergencia y compatibilidad que estos pueden presentar con las tecnologías de acceso de telefonía móvil manejadas en el país. Teniendo en cuenta la consideración anterior y con el estudio realizado en este proyecto, los estándares de TVDM que mejor se adaptan a las características del entorno colombiano son, DVB-H en mayor medida y MediaFLO como segunda opción.

- El complemento entre la TVDM y la telefonía móvil permite la creación de una plataforma robusta que facilita en gran medida el ofrecimiento de mayor cantidad y diversidad de servicios a los usuarios, además de ser una necesidad debido a la convergencia de ambas tecnologías en un mismo terminal, en este caso el teléfono celular, razón por la cual es importante establecer un modelo de negocio que optimice y facilite el trabajo conjunto tanto de la red de difusión *broadcast* como de la red de telefonía móvil y que se adapte a las necesidades de Colombia.

- La implementación de una o varias SFN en Colombia permite la optimización del espectro radioeléctrico, mas aun cuando éste se encuentra tan saturado en el país. Adicionalmente, este tipo de redes permiten la optimización de la cobertura en el entorno colombiano gracias a la ubicación de múltiples transmisores y/o repetidores trabajando en una misma frecuencia para un área específica, lo que a su vez evita en gran medida el uso del *handover* en dicha área, siendo necesario su manejo solo para los casos en los que el usuario se traslade con el terminal de una SFN a otra.

- Las redes de difusión *broadcast* son las más adecuadas para ofrecer TVDM en teléfonos celulares ya que permiten brindar servicios multimedia a grandes audiencias. Para un país como Colombia donde se busca en principio dar cobertura del servicio de televisión abierta a la totalidad del territorio nacional, es importante contar con una red que permita lograr este objetivo, como por ejemplo una red *broadcast*. Adicionalmente, el gobierno busca brindar este servicio básico de forma gratuita, por lo que es importante que el estándar que se elija para ofrecer TVDM en teléfonos celulares tenga la opción de ofrecer el servicio sin costo para los usuarios, tal es el caso de un estándar abierto.

- Gracias a la implementación de la TVDM en Colombia se abrirá una nueva oportunidad de negocios en el país para todos aquellos entes involucrados en la cadena de valor, además de la prestación de nuevos servicios para los consumidores, permitiendo el acceso a contenidos y aplicaciones multimedia en cualquier momento y lugar. De esta forma, el país dará un gran avance en el área de las telecomunicaciones, especialmente en dos servicios tan importantes como lo son la televisión y la telefonía móvil, al lograr la convergencia de estos en un mismo terminal como el teléfono celular.

## 5.2 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- A pesar de que la TVD dirigida a grandes audiencias a través de redes celulares se ve limitado por el ancho de banda que estas poseen, las tecnologías 3G cada vez avanzan más en la optimización del mismo pensando en el ofrecimiento de servicios de nueva generación como la televisión móvil buscando llegar a la mayor cantidad de usuarios posibles, razón por la cual se abre un camino amplio para la implementación de este tipo de servicios pensando en ofrecer la mayor cobertura posible y grandes audiencias. Por tal razón es importante realizar estudios al respecto.

- Es importante realizar un estudio para la implementación de una red híbrida terrestre-satelital con el objetivo de brindar una mayor cobertura al territorio colombiano, teniendo en cuenta el despliegue tanto de la red terrestre como de la red satelital. Por tanto, hay que tener en cuenta todas las consideraciones pertinentes y saber que este tipo de sistemas se encuentran en actual desarrollo por parte de los respectivos grupos de investigación a nivel mundial.

- La TVDM es una tecnología que abrirá la puerta a un negocio que beneficiará a los diferentes entes involucrados con la misma. Es importante entonces hacer un estudio más detallado del modelo de negocio más apto para Colombia, teniendo en cuenta que el objetivo sería ofrecer servicios interactivos, lo que hace necesario el complemento entre la red de difusión y la red celular junto con los demás actores involucrados en la cadena de valor.

- Es importante tener en cuenta las posibles interferencias que se pueden presentar entre la red de difusión *broadcast* de TVDM y las externas de diferentes tecnología móviles, razón por la cual se debe hacer un estudio de diseño y configuración para la operación correcta de frecuencias de trabajo y potencias de transmisión, parámetros que deben ser manejados de forma adecuada para el óptimo funcionamiento de los diferentes servicios ofrecidos por estas tecnologías.

- Es importante analizar más a fondo la difusión de servicios multimedia por medio de los estándares de TVDM y las redes *broadcast* gracias a IPDC, por lo que sería importante hacer un estudio detallado de su funcionamiento y las ventajas que ofrece, más aun al basarse en el protocolo IP que en la actualidad se encuentra bastante posicionado en redes de telecomunicaciones, incluyendo la parte móvil.

- Es importante realizar un estudio práctico para la planificación de redes de TVDM como un problema de optimización multiobjetivo, con el fin de determinar cual es la configuración más adecuada para la implementación de esta tecnología en un entorno determinado, por ejemplo el colombiano, y que maximice la cobertura del servicio al menor costo posible. Por tal razón, es importante estudiar o definir algoritmos de planificación, como los genéticos, para definir la ubicación de emplazamientos y la posible reutilización de infraestructura existente. También es importante contar con herramientas de simulación que acerquen a la realidad un posible diseño de red. Adicionalmente, es adecuado hacer un estudio detallado de los diferentes transmisores y/o repetidores que se pueden utilizar para maximizar la cobertura de la TVDM dentro de una SFN.

- Es de gran importancia para Colombia iniciar con la generación de diversos estudios y proyectos en el área de la TVDM debido a la importancia que significa esta tecnología en la actualidad no solo en el país sino en el mundo entero. Adicionalmente, es importante también que la academia cree grupos de investigación en el área y de ser posible incluya el estudio de la tecnología en asignaturas de los diferentes programas de pregrado y postgrado que sean afines a la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Revista Semana. "Historia de la Televisión en Colombia el comienzo". [Consulta 2008] Disponible: www.colarte.com/actores/General/ElComienzo.htm

[2] Comisión Nacional de Televisión. "La financiación de la televisión pública en Colombia". [Consulta 2005]. www.andinalink.com/es/exhibit/2005/files/cumbre/segmento2/fernando_devis_cntv_tv_publica.ppt

[3] Biblioteca Banco de La República. "Historia de la Televisión en Colombia", 2007

[4] TDT Colombia. "Todo sobre la Televisión Digital Terrestre", [Consulta 2008]. www.cntv.org.co/cntv_bop/tdt/

[5] Comisión Nacional de Televisión. "Consejo Comunal (Pereira)". [Consulta 2007]. Disponible: www.presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2007/enero/27/Presentacionmarconormativ%20televisi%F3n.pdf

[6] Mauricio Samudio Lizcano. "Actualización de los estándares y mercado de televisión digital terrestre TDT". CNTV – Andicom. (2007).

[7] Comisión Nacional de Televisión. "Ley No. 182 de 1995", [Consulta 2005]. Disponible: www.col.ops-oms.org/juventudes/Situacion/LEGISLACION/PARTICIPACION/PL18295.htm

[8] Universidad de los Andes. "Ente regulador". [Consulta 2007]. Disponible: http://compreg.uniandes.edu.co/modulos/3_telec/02.htm

[9] Comisión Nacional de televisión. "Propuesta Plan de Desarrollo 2008-2011", [Consulta 2008]. Disponible: www.cntv.org.co/cntv_bop/plan_tv/propuesta.pdf

[10] Comisión Nacional de Televisión. "Espectro electromagnético". [Consulta 2008]. Disponible:www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/index.jsp?page=./mods/contenido/view_page&id_contents=215&l=2

[11] Comisión Nacional de Televisión. "Espectro Electromagnético de TV", [Consulta 2008], Disponible: www.cntv.org.co/cntv_bop/servicio_cober/espectro/

[12] ACIEM. "¿Está Colombia preparada para tener Televisión Digital?". [Consulta 2008], Disponible: http://www.aciem.org/bancoconocimiento/A/ACIEM_%C2%BFEstaColombiapreparadaparatenerTelevis/ACIEM_%C2%BFEstaColombiapreparadaparatenerTelevis.asp

[13] RedesTelecom.es. "La TDT salta al móvil". [Consulta 2007] Disponible: http://www.redestelecom.com/Reportajes/200712040059/La-TDT-salta-al-movil.aspx

[14] Edison Cepeda. "INTRODUCCIÓN A LOS SERVICIOS DE TV MÓVIL", Caracas. Febrero de 2007

[15][Raúl cumplido] [97] Raúl Cumplido Domínguez. "Estudio y evaluación de las posibilidades del DVB-H para comunicaciones IP en un Terminal móvil UMTS/GPRS", Universidad Politécnica de Cataluña - 2006

[16] Wikipedia. "Multimedia Broadcast Multicast Service". [Consulta 2008] Disponible: http://en.wikipedia.org/wiki/Multimedia_Broadcast_Multicast_Service

[17] Borko Furht, Syed Ahson. (2008). Título: Handbook of Mobile Broadcasting DVB-H, DMB, ISDB-T, AND MEDIAFLO. Edición No.1. 746 Páginas.

[18] 3GPP TS 23. 246 V8.2.0 (2008-06). (2008). Título: Technical Specification Group Services and System Aspects; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description. Disponible: http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23246.htm

[19] 3GPP TR 25.803 V6.0.0 (2005-09). (2006). Título: Technical Specification Group Radio Access Network; CCPCH performance for MBMS. Disponible: http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25803.htm

[20] [16]José Simonetta.., "Televisión Digital Avanzada", Noviembre de 2002. Intertel. Edición No.1. 605 Paginas

[21] ETSI TR 102 377 V1.2.1. Estandard DVB-H., "DVB-H Implementation Guidelines" 2006

[22] DVB Draf V1.3.1. Estándar DVB-H., "Titulo: Implementation Guidelines for DVB-H Services - A092r2", 2007. en preparación

[23] ETSI TR 102 469 V1.1.1., estándar DVB-H "Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Architecture", 2006

[24] MPH. "MHP and GEM specifications". [Consulta 2008] .Disponible: http://www.mhp.org/fullspeclist.htm

[25] ETSI ES 201 812 V1.1.2. "Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP) Specification 1.0.3", 2006

[26] DVB draft A120. estándar DVB-H, "DVB-SH Implementation Guidelines", Mayo 2008

[27] D. Gómez-Barquero, A. Salieto, J. Martín, y N. Cardona., "Transmisión de Servicios de Televisión Digital Móvil en Redes DVB-SH", Jornadas Telecom I+D, Valencia, España, 2007.

[28] [56] ARIB., "TRANSMISSION SYSTEM FOR DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION BROADCASTING." [Consulta 2008]. Disponible: http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B31v1_6-E2.pdf

[29] ACIEM., "Sistemas avanzados para televisión Digital terrestre y móvil". Memorias – Seminario, Julio 2007.

[30]Grupo DiBEG,. "Televisión Digital Terrestre". [Consulta 2007]. Disponible: http://www.dibeg.org/overview/isdb.htm

[31] Carlos E. Dantas., "Resultados de pruebas de campo de receptores móviles para el sistema Brasilero de TV digital". Articulo – universidad de Mackenzie. 2007

[32] Luiz Fernando Gomes Soares y Guido Lemos de Souza Filho., "Interactive Television in Brazil: System Software and the Digital Divide," 2006.

[33]Katsuyuki Hasebe,. Multi One Seg:", [Consulta 2006]. Disponible: http://www.apan.net/meetings/newzealand2008/presentations/hdtv/hasebe-MultiOneSeg-APAN26.pdf

[34] DMB. " DMB". [Consulta 2008] Disponible: http://eng.t-dmb.org/

[35] ETSI EN 300 744 V1.4.1., "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television". 2001.

[36] Kyung-Taek Lee; Yong-Suk Park; Se-Ho Park; Jong-Ho Paik; Jong-Soo Seo. "Development of Portable T-DMB Receiver for Data Services Consumer Electronics", IEEE Transactions on Volume 53, Febrero 2007 Páginas: 17 – 22

[37] Sammo Cho; GwangSoon Lee; Byungjun Bae; KyuTae Yang; Chung-Hyun Ahn; Soo-In Lee; Chiteuk Ahn. "System and Services of Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting (T-DMB)", IEEE Transactions on Volume 53, Marzo 2007 Paginas: 171-178.

[38] DMB., " DMB". [Consulta 2008] Disponible: http://eng.t-dmb.org/

[39] Sang-Jin Lee; SangWoon Lee; Kyung-Won Kim; Jong-Soo Seo. " 2007. Titulo: Personal and Mobile Satellite DMB Services in Korea". IEEE Transactions on Volume 53, Marzo de 2007. Paginas: 179 - 187

[40] Sang Jin Lee; Sangwoon Lee; Jong Soo Seo. "Combinational Spreading and Modulation Technique for Mobile Satellite DMB Services", Consumer Electronics, 2008. ICCE 2008. Digest of Technical Papers. Junio 2008. Paginas: 1-2

[41] Qualcomm-Media FLO. "FLO technology overview". [Consulta 2007]. http://www.qualcomm.com/common/documents/brochures/tech_overview.pdf

[42] Murali R. Chari, Fuyun Ling, Ashok Mantravadi, Raghuraman Krishnamoorthi, Rajiv Vijayan, G. Kent Walker, and Rob Chandhok. "FLO Physical Layer: An Overview". IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, Marzo de 2007.

[43] Walker, K.; Fuyun Ling; Chandhok, R.; Vijayan, R. "The FLOTM Physical Layer, an Optimized Multicast Solution for Terrestrial Mobile Multimedia". IEEE 16th International Symposium on Volume 2, Septiembre. 2005 Paginas: 1238 – 1244.

[44] Harris,. "Harris Corporation to Demonstrate World's First Mobile Pedestrian Handheld Enabled Broadcast Exciter at NAB2008.", 2007

[45] Harris. "LG Electronics, Harris Corporation Submit MPH In-Band Mobile DTV Technology for ATSC's Mobile Standard". 2007

[46] Tim LaudZenith Electronics., "In Band Mobile, Predestrian, and Handheld Service for the ATSC Radiodifusor". ATSC. 1 Noviembre 2007

[47] ETSI TR 102 377 V1.2.1. Estandard DVB-H., "DVB-H Implementation Guidelines" 2006

[48] Modulo tecnico de DVB., "System Comparison T-DMB vs. DVB-H". TN3490-DVB-H. 281r1. 2006

[49] Newport media inc. "Mobile TV The Ultimate User Experience". 2008

[50] Kyung-Taek Lee; Yong-Suk Park; Se-Ho Park; Jong-Ho Paik; Jong-Soo Seo. "Development of Portable T-DMB Receiver for Data Services Consumer Electronics", IEEE Transactions on Volume 53, Febrero 2007 Páginas: 17 – 22

[51] Sammo Cho; GwangSoon Lee; Byungjun Bae; KyuTae Yang; Chung-Hyun Ahn; Soo-In Lee; Chiteuk Ahn. "System and Services of Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting (T-DMB)", IEEE Transactions on Volume 53, Marzo 2007 Paginas: 171-178.

[52] Murali R. Chari, Fuyun Ling, Ashok Mantravadi, Raghuraman Krishnamoorthi, Rajiv Vijayan, G. Kent Walker, and Rob Chandhok. "FLO Physical Layer: An Overview". IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, Marzo de 2007.

[53] Walker, K.; Fuyun Ling; Chandhok, R.; Vijayan, R. "The FLOTM Physical Layer, an Optimized Multicast Solution for Terrestrial Mobile Multimedia". IEEE 16th International Symposium on Volume 2, Septiembre. 2005 Paginas: 1238 – 1244.

[54] Foro técnico de televisión digital., "Documento sobre informe de situación DVB-H". Secretaria de estado de telecomunicaciones y para la sociedad de la información. Junio 2005.

[55] RedesTelecom.es. "La TDT salta al móvil". [Consulta 2007] Disponible: http://www.redestelecom.com/Reportajes/200712040059/La-TDT-salta-al-movil.aspx

[56] Edison Cepeda. "INTRODUCCIÓN A LOS SERVICIOS DE TV MÓVIL", Caracas. Febrero de 2007

[57] Antonia Alejandra González, Karla Jiménez. "Televisión Digital Interactiva y sus aplicaciones educativas", Comunicar: Revista científica iberoamericana de comunicación y educación, ISSN 1134-3478, Nº 26, 2006. Paginas: 93-101.

[58] David Gómez Barquero, Ariana Salieto, Alexis P. García, José F, Monserrat , Narcís Cardona,. "Planifi cación de una red DVB-H en entorno urbano". Universidad Politécnica de Valencia. 2007

[59] Raquel Vinader Segura,. "La televisión móvil en el marco de la convergencia digital de los medios: ¿un negocio rentable?". Felipe II de Aranjuez. 2007

[60] Clarín.com. "INTIMIDADES DE LAS EMISIONES DE TV DIGITAL Y MOVIL", [Consulta 2005]. Disponible: http://www.clarin.com/suplementos/informatica/2005/11/23/f-00211.htm

[61] RedesTelecom.es. "La TDT salta al móvil". [Consulta 2007] Disponible: http://www.redestelecom.com/Reportajes/200712040059/La-TDT-salta-al-movil.aspx

[62] Edison Cepeda. "INTRODUCCIÓN A LOS SERVICIOS DE TV MÓVIL", Caracas. Febrero de 2007

[63] Grupo de Trabajo 7 MHP y Foro Técnico de la televisión digital. "Foro técnico de TV digital". Ministerio de industria turismo y comercio de España. 2007

[64] Universidad Pontificia Católica de Río de Janeiro. "TV Digital para Dispositivos Portátiles – Middlewares". 2008

[64] TDT- Ministerio de industria de comercio de España. "Información general". [Consulta 2007]. Disponible: http://www.televisiondigital.es/TecnologiasRelacionadas/Interactividad/Informacion/

[65] TDT. "¿Qué es la interactividad?". [Consulta (2007)] Disponible: http://televisiondigitalterrestretdt.com/interactividad_tdt.htm

[66] IP Datacast Forum.. "IPDC". [Consulta 2008]. Disponible: http://www.ipdc-forum.org/

[67] Bmcoforum. "Mobile Broadcast Business Models - A State of the Art Study". [Consulta 2005]. Disponible: http://www.bmco-berlin.com/index.php?id=62