



## **CAPÍTULO V. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE RADIO DIGITAL TERRESTRE**

### **1. Introducción**

En los capítulos anteriores ya se expusieron todas las características técnicas, de conversión y requerimientos de ancho de banda y frecuencia que tienen cada uno de los sistemas de radiodifusión digital de mayor difusión.

En este capítulo se hará la comparación de estos tres estándares (IBOC, DRM y DAB) tomando como base los siguientes aspectos:

1. Banda de frecuencias utilizada para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
2. Canal y ancho de banda utilizados para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
3. Sistemas de radiodifusión analógicos que sustituye.
4. Capacidad de transmisión de datos del sistema.
5. Servicios de audio y valor agregado que ofrece el sistema de radiodifusión digital.
6. Codificación de canal utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
7. Codificación de fuente utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
8. Mejoras en la calidad de audio que ofrece.
9. Facilidad para la migración del sistema de radiodifusión analógico al sistema de radiodifusión digital y costos de la implementación.

De los criterios anteriores se consideran como los más importantes los relacionados con el uso del espectro radioeléctrico (bandas, canales de transmisión y ancho de banda), ya que lo ideal es la adopción de un sistema que se ajuste lo mejor posible a las condiciones de asignación y uso del espectro en México.

Por esta razón, a continuación se presentan las condiciones de transmisión para las estaciones de AM y FM establecidas por la COFETEL, con base en los acuerdos internacionales aprobados por la ITU. Primero se presentan las bandas de servicios establecidas dentro del espectro radioeléctrico de acuerdo a la Región, así como su uso tanto a nivel de dicha Región como a nivel nacional; posteriormente se presentan las especificaciones de transmisión para los sistemas de radiodifusión de AM y FM en México, donde se muestran las bandas asignadas para dicho servicio, así como los canales y anchos de banda respectivos.

Después, se presenta a manera de resumen de los capítulos II, III y IV, el cuadro comparativo de los diferentes aspectos técnicos de cada una de las tecnologías de radiodifusión digital consideradas en este trabajo para poder ver las ventajas de cada sistema en cada uno de los aspectos analizados.

Finalmente, en el capítulo VI se presenta la propuesta del sistema de radiodifusión digital que debería ser adoptado en México, tomando en cuenta el análisis y comparación de datos presentados en este capítulo, así como las normas de radiodifusión vigentes en México.



---

## 2. Normativa Mexicana para la radiodifusión analógica sonora terrestre

En este capítulo se explican las bases normativas con las que debe cumplir el nuevo estándar de radiodifusión digital terrestre que sea adoptado en México. Como se mencionó en la introducción de este capítulo y como se verá con mayor detalle más adelante, es importante que el estándar seleccionado por la COFETEL se ajuste lo más posible a las normas de transmisión establecidas en México (bandas de transmisión, canales de transmisión y ancho de banda) para evitar problemas de interferencia a otros servicios de radiodifusión u otros ofrecidos ya sea dentro del territorio mexicano, o en otros países.

En primer lugar se muestran las normas relacionadas a la asignación de las bandas para los servicios de radiodifusión analógica de audio para después mostrar las normas donde se establecen los anchos de banda y máscaras de transmisión aprobadas por la COFETEL para las transmisiones analógicas de AM y FM. Todo lo anterior para poder tener las bases necesarias para realizar el análisis adecuado.

### 2.1. Normas para la asignación de las bandas de frecuencia para la radiodifusión

Según la Ley Federal de Radio y Televisión [DOF 0609], *“el servicio de radiodifusión es aquél que se presta mediante la propagación de ondas electromagnéticas de señales de audio o de audio y video asociado, haciendo uso, aprovechamiento o explotación de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico atribuido por el Estado precisamente a tal servicio; con el que la población puede recibir de manera directa y gratuita las señales de su emisor utilizando los dispositivos idóneos para ello”*.

Lo anterior significa que corresponde al Estado la asignación de las bandas de transmisión para los diferentes servicios de radiocomunicación existentes, y a pesar de que esta ley también establece que [DOF 0609] *“corresponde a la Nación el dominio directo de su espacio territorial y, en consecuencia, del medio en que se propagan las ondas electromagnéticas”*, la asignación de bandas del espectro radioeléctrico no puede hacerse de forma arbitraria, esta tiene que hacerse en base a los acuerdos internacionales promovidos por la ITU dentro de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones, de la que México es Estado Miembro. Por esta razón, la COFETEL publicó [DOF 0308] el documento donde se establece el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

En este documento se establece [DOF 0308], en su artículo 4, sección 1, punto 4.2, que: *“Los Estados Miembros se comprometen a atenerse a las prescripciones del Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, así como a las demás disposiciones del presente Reglamento, al asignar frecuencias a las estaciones que puedan causar interferencias perjudiciales a los servicios efectuados por las estaciones de los demás países”*, y para lograr lo anterior, la ITU dividió al mundo, desde el punto de vista de la atribución de las bandas de frecuencias, en tres Regiones [DOF 0308], las cuales se muestran en la figura V.2.1.

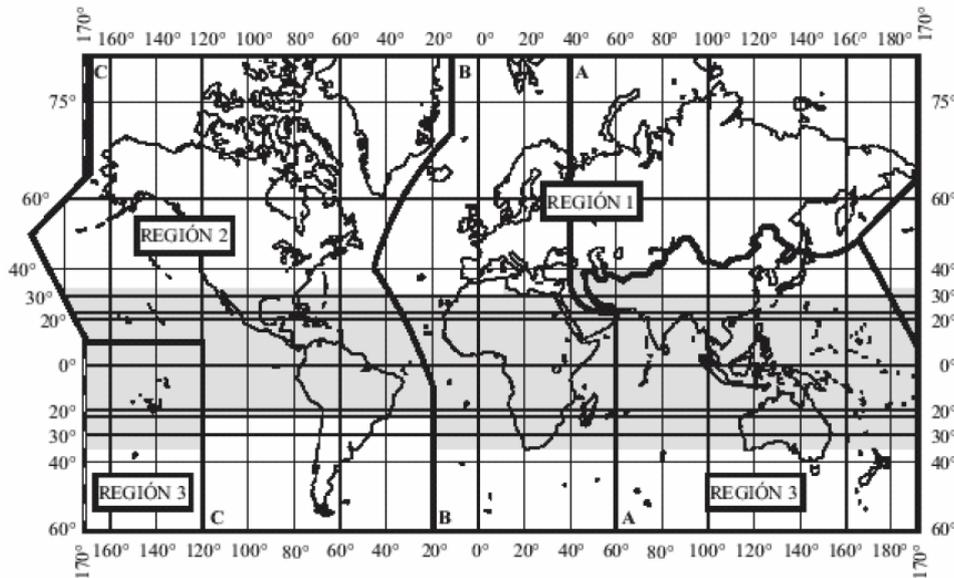


Figura V.2.1. Regiones establecidas por la ITU [DOF 0308]

Como se observa en dicha figura, la Región 1 comprende los continentes europeo y africano y la zona al norte de la Federación de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C; la Región 2 comprende el continente americano y la Región 3 comprende Oceanía y el resto del continente asiático que no está cubierto por la Región 1.

De esta forma, en base a la división por regiones establecida por la ITU, la COFETEL publicó [DOF 0308] el cuadro para la Atribución Regional y Nacional, donde se observa la atribución de bandas en cada una de las tres diferentes Regiones, así como los servicios asignados a dichas bandas de frecuencias aquí en México.

Con base en todo lo anterior y tomando también en cuenta que la ITU define [DOF 0308] el servicio de radiodifusión como un “servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general (dicho servicio abarca emisiones sonoras, de televisión o de otro género)”, podemos observar que en el cuadro de atribución regional y nacional de bandas existen ciertas bandas asignadas para los servicios de radiodifusión terrestre de audio en la Región 2; estas son:

1. Bandas de 535 a 1,605 kHz, de 1,605 a 1,625 kHz para el servicio de radiodifusión y de 1,625 a 1,705 kHz para servicios fijos, móviles y de radiodifusión.
2. Bandas de 88 a 100 MHz y 100 a 108 MHz para el servicio de radiodifusión.
3. Banda de 1,452 a 1,492 MHz para servicios fijos, de radiodifusión y radiodifusión por satélite.

Y de acuerdo a las notas mexicanas [DOF 0308], mostradas dentro del mismo cuadro de atribuciones, estas bandas se utilizan, en México, para los siguientes servicios:

1. Bandas de 535 a 1,605 kHz, de 1,605 a 1,625 kHz y de 1,625 a 1,705 kHz para el servicio de radiodifusión en AM.
2. Bandas de 88 a 100 MHz y 100 a 108 MHz para el servicio de radiodifusión en FM.
3. Banda de 1,452 a 1,492 MHz para establecer comunicaciones de radiotelefonía multicanal de punto a punto con capacidad de 120 comunicaciones de voz por



frecuencia asignada y sirve para satisfacer las necesidades de empresas públicas, privadas y paraestatales. Actualmente está en estudio el Plan de frecuencias para su eventual transferencia a otras bandas, a fin de dar cabida a la radiodifusión sonora digital.

## 2.2. Normas para las especificaciones espectrales para la radiodifusión

En cuanto a las características espectrales con las que deben cumplir las señales analógicas tanto en el sistema AM como en el de FM, la COFETEL publicó dos normas [NOM-01] [NOM-02] en las que se señalan las condiciones de transmisión que deben de cumplir las radiodifusoras de AM y FM para evitar interferencia a otros servicios y hacer un uso eficiente del espectro.

### 2.2.1. Sistemas analógicos de radiodifusión de AM

Para los sistemas de radiodifusión analógicos de AM se establecen las siguientes características de banda, canales y máscaras espectrales [NOM-01]:

- **Separación entre canales:** La separación entre canales es de 10 kHz; las frecuencias portadoras deben ser múltiplos enteros de 10 kHz, de 540 a 1600 kHz.
- **Identificación de canales:** Los 107 canales de la banda normal se identifican por su frecuencia portadora (frecuencia central del canal).
- **Anchura de banda y máscara de transmisión:** Todas las estaciones de radiodifusión sonora moduladas en amplitud, deben modular sus transmisiones con una anchura de banda de audio cuyo límite espectral a partir de 10 kHz se describe a continuación: a 10 kHz debe tener un nivel de -15 dB, aumentando la atenuación en forma continua hasta -30 dB a 10.5 kHz, permaneciendo en -30 dB hasta 11 kHz, en donde debe reducirse a -40 dB; a partir de 11 kHz, la atenuación aumentará en forma continua para alcanzar -50 dB en 15 kHz. En la figura V.2.2, se ilustra la gráfica del límite espectral de la anchura de banda de audiofrecuencia, la cual toma como referencia una señal de +10 dB para una onda senoidal de 200 Hz, modulando al transmisor al 90%.

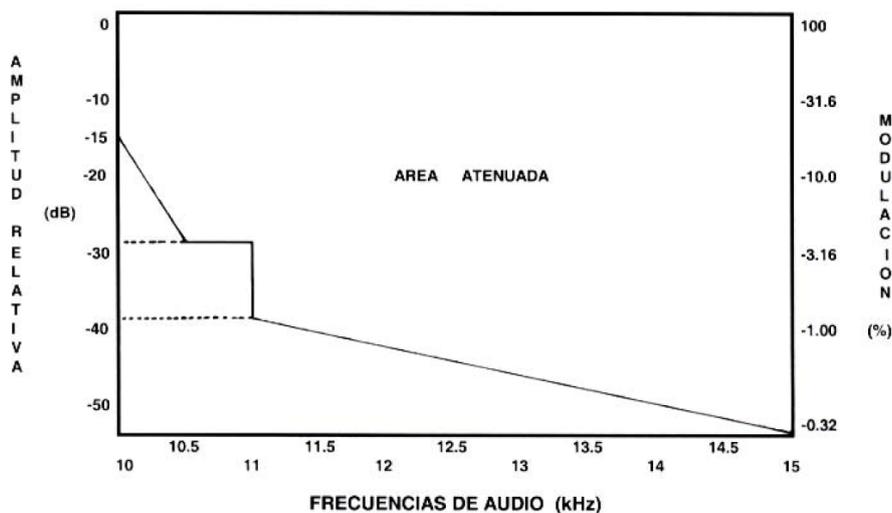


Figura V.2.2. Límite espectral de la anchura de banda de audiofrecuencia para la radiodifusión analógica en AM [NOM-01]



- **Emisiones no esenciales:** Las emisiones no esenciales, con respecto a la portadora sin modular, deben atenuarse:
  - de 10 a 20 kHz - 25 dB
  - de 20 a 30 kHz - 35 dB
  - de 30 a 75 kHz - (5 dB + 1 dB/kHz)
  - de 75 kHz en adelante - 80 dB para transmisores con potencias hasta de 5 kW.
  - Para potencias mayores de 5 kW, se debe considerar el valor que resulte de aplicar la expresión:

$$dB = - [43 + 10 \log P]$$

Donde P=Potencia en Watts

En la figura V.2.3 se muestra la máscara del espectro de emisión para una estación de radiodifusión sonora en AM.

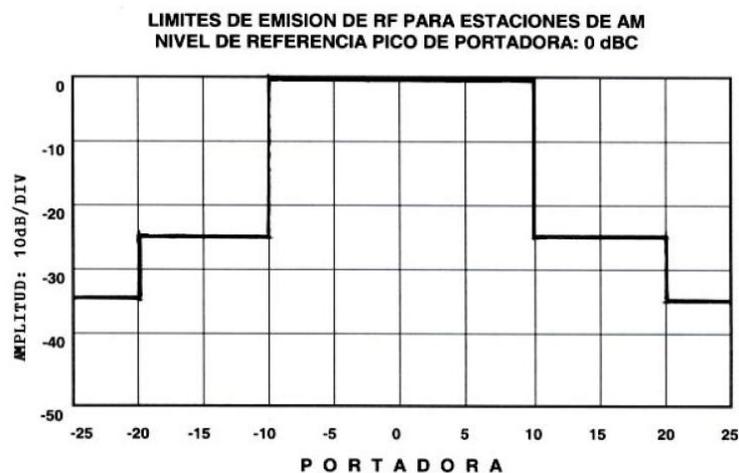


Figura V.2.3. Máscara del espectro de emisión para una estación de AM [NOM-01]

## 2.2.2. Sistemas analógicos de radiodifusión de FM

Para los sistemas de radiodifusión analógicos de FM se establecen las siguientes características de banda, canales y máscaras espectrales [NOM-02]:

- **Canal de radiodifusión de frecuencia modulada:** Es la parte del espectro de 200 kHz de anchura, asignado para estaciones de radiodifusión sonora de FM, que se caracteriza por el valor nominal de la frecuencia portadora situada en el centro de dicha parte del espectro.
- **Identificación de los canales:** Los canales de la banda de 88 a 108 MHz se identifican por su frecuencia portadora central y por el número del canal. Sus frecuencias centrales comienzan en 88.1 MHz y continúan sucesivamente hasta la de 107.9 MHz, con incrementos de 200 kHz.
- **Espectro de las emisiones:** Las emisiones producidas por una estación de radiodifusión de Frecuencia Modulada, deberán cumplir con los siguientes requisitos:
  - a. Los componentes del espectro comprendidos entre -120 y +120 kHz, tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran componentes esenciales para la transmisión de la información, por lo tanto no serán sujetos a ninguna atenuación, de aquí que la anchura de banda necesaria para una estación de FM, será de 240 kHz, tal como se describe en la figura V.2.4.

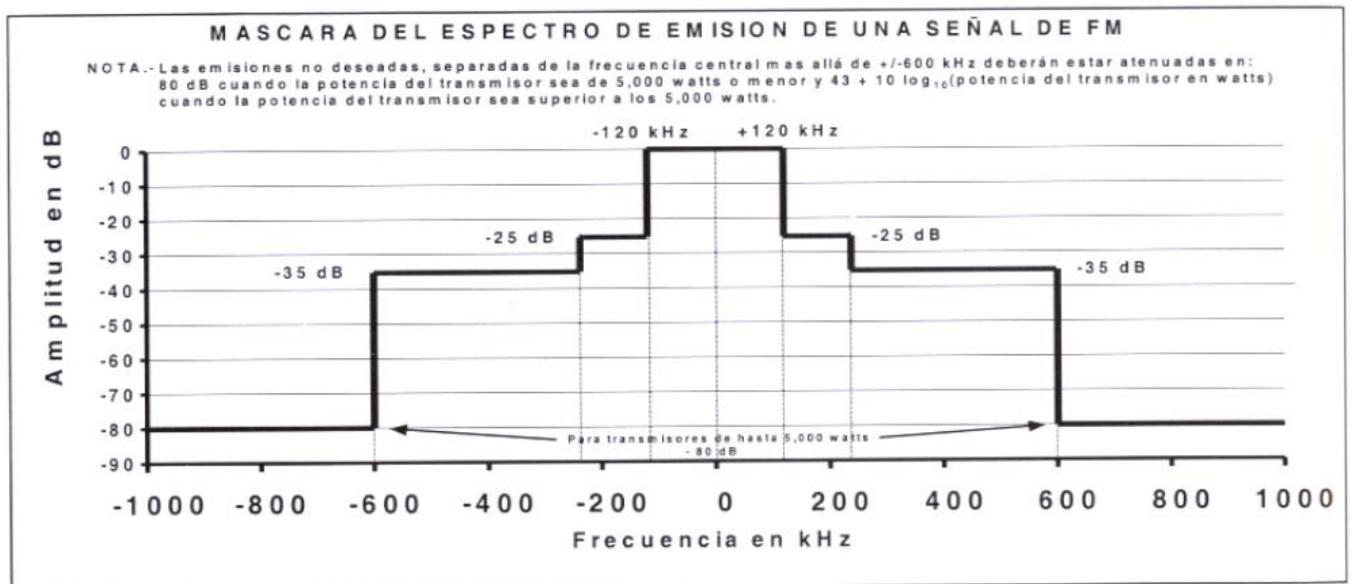


Figura V.2.4. Máscara del espectro de emisión para una estación de FM [NOM-02]

- b. Los componentes del espectro comprendidos de -120 a -240 kHz y de +120 a +240 kHz, tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a -25 dB por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
- c. Los componentes del espectro comprendidos de -240 a -600 kHz y de +240 a +600 kHz, tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a -35 dB por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
- d. Para los transmisores de hasta 5,000 W de potencia, todos los componentes del espectro que estén por debajo de -600 kHz y por arriba de los +600 kHz tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a -80 dB por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
- e. Para los transmisores cuya potencia sea superior a 5,000 W, todos los componentes del espectro que estén por debajo de -600 kHz y por arriba de los +600 kHz tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a:  $-43 \text{ dB} - 10 \log(\text{potencia del transmisor en W}) \text{ dB}$  por debajo del nivel de la portadora establecido como referencia cuando ésta no está modulada.



### 3. Cuadro comparativo de las tecnologías de radio digital terrestre

En este capítulo se muestra, a manera de resumen de los capítulos II, III y IV de este trabajo, un cuadro que contiene todos los datos técnicos que serán tomados en cuenta para la comparación de estándares, posteriormente se presenta una breve explicación de cada una de estas características así como su análisis.

La estructura de la tabla V.3.1 es la siguiente; está constituida por 4 columnas, de las cuales la primera presenta las características que serán tomadas en cuenta para la comparación de cada uno de los sistemas de radiodifusión digital presentados en este trabajo, las tres columnas restantes corresponden a cada uno de los estándares a analizar, IBOC, DRM y DAB.

Los aspectos que serán tomados en cuenta y que son los que se presentan en la tabla comparativa son los siguientes:

1. Banda de frecuencias utilizada para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
2. Canal y ancho de banda utilizados para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
3. Sistemas de radiodifusión analógicos que sustituye.
4. Capacidad de transmisión de datos del sistema.
5. Servicios de audio y valor agregado que ofrece el sistema de radiodifusión digital.
6. Codificación de canal utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
7. Codificación de fuente utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
8. Mejoras en la calidad de audio que ofrece.
9. Facilidad para la migración del sistema de radiodifusión analógico al sistema de radiodifusión digital y costos de la implementación.

Por último, en cada uno de los datos que se presentan, la tabla hace referencia al capítulo y la sección de donde se obtuvo dicha información para que sea más fácil la consulta de los mismos, en caso de requerirse.



Tabla V.3.1. Cuadro comparativo de las tecnologías de radiodifusión digital terrestre

Característica del sistema	Sistema de radiodifusión digital			Mejor estándar
	IBOC (capítulo II)	DRM (capítulo III)	DAB (capítulo IV)	
<b>Banda de frecuencias</b>	Bandas asignadas, en México, para AM y FM <i>(sección 3.5)</i>	Bandas asignadas, en México, para AM, FM y OC. <i>(sección 3.6)</i>	Bandas de VHF y UHF (Banda L y Bandas I a V) <i>(sección 3.2.1)</i>	IBOC
<b>Canal y ancho de banda</b>	Usa el mismo canal de la señal analógica y maneja 3 anchos de banda de acuerdo al tipo de señal: <b>AM híbrida:</b> 29,433.2 Hz <b>AM digital:</b> 18,895.4 Hz <b>FM:</b> 396,804 Hz <i>(sección 3.5)</i>	Puede utilizar el mismo canal de la señal analógica ( <b>simulcast de canal único (DRM30)</b> ) o puede usar un canal adyacente ( <b>simulcast multicanal (DRM30 Y DRM+)</b> ) <i>(sección 3.6)</i>	Ancho de banda nominal de 1.536 MHz y con canales cada 16 kHz. <i>(sección 3.2.2)</i>	IBOC
<b>Sistema de radiodifusión analógico que sustituye</b>	AM y FM	Sistemas de radiodifusión por debajo de los 30 MHz (DRM 30) y sistemas de radiodifusión analógicos en la banda de 30 a 174 MHz (DRM+)	Funcionar en las bandas de VHF y UHF, por lo que los sistemas AM y FM pueden seguir funcionando	IBOC
<b>Capacidad de transmisión</b>	<b>AM:</b> 36 a 40 kbps <b>FM:</b> 98 a 278 kbps Permite la multidifusión (3 programas independientes) <i>(sección 3.3.2)</i>	<b>DRM30:</b> 4.8 a 72 kbps <b>DRM+:</b> 37.2 a 186.3 kbps Permite la multidifusión (4 programas independientes) <i>(sección 3.3)</i>	Va de 8 a 384 kbps. Permite la multidifusión; hasta 9 programas independientes dentro de un mismo canal. <i>(sección 3.1.2)</i>	DAB
<b>Servicios de audio y valor agregado</b>	Permite la transmisión de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Señales analógicas y digitales simultáneas.</li> <li>• Datos y audio de programas principal y complementarios.</li> <li>• Datos independientes a los servicios de audio.</li> <li>• Datos de identificación.</li> </ul> <i>(capítulo 2)</i>	Permite: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sintonizar AM, FM y DAB.</li> <li>• Transmisión de señales analógicas y digitales.</li> <li>• Envío de datos de identificación.</li> <li>• EPG, Journaline, MOT Slideshow, canal de tráfico, mensajes de texto y Diveemo.</li> <li>• Uso de SFN y MFN.</li> </ul> <i>(capítulo 2)</i>	Permite: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sintonizar AM, FM y DRM.</li> <li>• Envío de datos de identificación.</li> <li>• EPG, Journaline, TMC/TPEG y DMB.</li> <li>• Trabajar con GSM y DRM para ofrecer servicios bajo demanda y mayor contenido.</li> <li>• Uso de SFN en la Banda L.</li> </ul> <i>(capítulo 2)</i>	DRM



Característica del sistema	Sistema de radiodifusión digital			Mejor estándar
	IBOC (capítulo II)	DRM (capítulo III)	DAB (capítulo IV)	
<b>Codificación de canal</b>	COFDM <i>(sección 3.4.2)</i>	COFDM <i>(sección 3.2.1)</i>	COFDM <i>(sección 3.1.3)</i>	
<b>Codificación de fuente</b>	HE-AAC <i>(sección 3.1)</i>	HE-AAC (DRM30 y DRM+) y CELP y HVXC (DRM30) <i>(sección 3.1.1)</i>	Ofrece 4 modos de audio y dos codecs MPEG2 (DAB) y HE-AAC (DAB+) <i>(sección 3.1.2)</i>	DAB
<b>Calidad de audio</b>	AM alcanza una calidad de audio igual a la FM analógica actual, mientras que FM alcanza una calidad de audio igual a la de un CD <i>(sección 1.2)</i>	AM alcanza una calidad de audio igual a la FM analógica actual, mientras que FM ofrece la posibilidad de la transmisión de sonido envolvente <i>(sección 1.2)</i>	Permite la transmisión de sonido envolvente <i>(sección 1.2)</i>	DRM
<b>Facilidad para la migración y costos adicionales de implementación</b>	<b>AM:</b> Ofrece una configuración para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. <b>FM:</b> Ofrece tres configuraciones para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. Cuenta con una gran variedad de receptores disponibles. <i>(capítulo 4)</i>	<b>AM:</b> Ofrece una configuración para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. <b>FM:</b> Ofrece tres configuraciones para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida: Actualmente se han desarrollado pocos receptores para DRM30 y aún no existe ningún receptor disponible para DRM+. <i>(capítulo 4)</i>	Por trabajar en bandas diferentes a las asignadas para la radiodifusión en México, es necesario adquirir equipos de transmisión y antenas nuevos. Además, cuenta con una gran variedad de receptores disponibles para los usuarios <i>(capítulo 4)</i>	DRM



---

### 3.1. Análisis de la tabla comparativa de estándares de radio digital

En esta sección se presenta una breve explicación de cada uno de los puntos considerados para la comparación de los estándares, para posteriormente exponer las ventajas y desventajas que presenta cada sistema en cada uno de los puntos analizados.

#### 3.1.1. Banda de frecuencias en las que transmite la señal digital

Como se mencionó en la sección 2.1 de este capítulo, en México, según el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias [DOF 0308], existen varias bandas en donde es posible ofrecer servicios de radiodifusión sonora; estas bandas son:

- Bandas de 535 a 1,605 kHz, de 1,605 a 1,625 kHz y de 1,625 a 1,705 kHz
- Bandas de 88 a 100 MHz y 100 a 108 MHz
- Banda de 1,452 a 1,492 MHz

De estas bandas, el primer grupo (de 535 a 1,705 kHz) en México es utilizado para la radiodifusión sonora en AM, el segundo grupo (88 a 108 MHz) para la radiodifusión sonora en FM y finalmente, el tercer grupo (1,452 a 1,492 MHz) se utiliza principalmente para el servicio de radiotelefonía.

Por esta razón, y de acuerdo a la tabla V.3.1, vemos que en este caso, sería posible la adopción de los estándares IBOC o DRM, ya que estos trabajan en las bandas ya establecidas para los servicios de radiodifusión sonora.

Por su parte, el sistema DAB, al trabajar en la Banda L (1,452 a 1,492 MHz) requeriría de que esta banda fuese liberada para poder ser utilizada para el servicio de radiodifusión digital sonora y evitar así posibles interferencias negativas con los servicios que se ofrecen actualmente en esta banda. Esto podría ocasionar un serio problema, ya que la COFETEL se vería en la necesidad de realizar los cambios necesarios a las concesiones, y esto podría traer problemas a nivel internacional, ya que se corre el riesgo de que existan interferencias con los servicios prestados en esa misma banda por otras naciones.

#### 3.1.2. Canal y ancho de banda utilizado por la señal digital

Este es uno de los aspectos más importantes a considerar, ya que en varias zonas del país, actualmente no se cuenta con el espacio suficiente de espectro debido a la gran demanda del espectro que existe; por esta razón, el sistema que se elija debe apegarse lo más posible a las condiciones ya establecidas de asignación de canales y anchos de banda, sobre todo para evitar problemas de interferencias o saturación del espectro.

Así pues, de acuerdo a lo establecido por la COFETEL tanto para las transmisiones de AM [NOM-01] como para las de FM [NOM-02], las nuevas señales digitales, en caso de utilizarse las bandas ya asignadas para la transmisión, deben contar con anchos de banda de 20 kHz para el caso de AM y de 240 kHz para el caso de FM.

En este caso, podemos ver (tabla V.3.1) que cada sistema tiene diferentes condiciones:

El sistema IBOC respeta tanto las asignaciones de canal como de ancho de banda al colocar las transmisiones digitales en bandas laterales a la banda utilizada por la señal analógica. Con esto, el sistema permite su aplicación en zonas donde existe una saturación del espectro.

Por su parte, el sistema DRM también permite el uso del mismo canal para la transmisión de ambas señales (analógica y digital), esto lo consigue mediante la transmisión de una banda lateral digital y la otra banda lateral analógica. Sin embargo, esto solo es posible para sistemas por debajo de los 30 MHz (sistema DRM) y la principal desventaja de esto es que no



permite explotar al máximo las ventajas de transmisión que ofrece el sistema. En lo referente al sistema DRM+, la única opción de transmisión es la transmisión multicanal, donde se requiere el uso de un canal independiente para la transmisión de la señal digital. La principal desventaja de esto es que en zonas donde ya no sea posible asignar otro canal a las radiodifusoras, la implementación de este sistema sería muy complicada, además de que requeriría la licitación de un nuevo canal de frecuencia por parte de las radiodifusoras.

Por último, el sistema DAB, no presenta ningún problema en cuanto a la asignación de canales y anchos de banda, ya que al trabajar en una banda de frecuencias totalmente diferente, la COFETEL sería la encargada de establecer el número de canales necesarios dentro de la nueva banda y de esta manera poder cubrir la demanda.

### 3.1.3. Sistemas de radiodifusión analógicos que sustituye

En México actualmente se encuentran vigentes los servicios de radiodifusión sonora en AM (banda de 535 a 1,705 kHz) y en FM (88 a 108 MHz), por lo que es importante el poder adoptar un sistema que cubra ambas bandas de frecuencias, o en su defecto, dos sistemas que en conjunto, cubran ambas bandas, esto para permitir que el usuario tenga acceso a los servicios disponibles en ambas bandas, sin necesidad de tener que adquirir dos equipos receptores independientes.

Entonces, de acuerdo a la tabla V.3.1, podemos ver que, el sistema IBOC cuenta con la ventaja importante de que, adoptando un solo estándar de radiodifusión digital, es posible realizar la migración de tecnología en ambas bandas de radiodifusión; sin embargo, al añadir las bandas digitales a la señal analógica (en el caso de las transmisiones híbridas), puede haber problemas de interferencia a las señales analógicas de las bandas adyacentes.

El sistema DRM, por su parte, tiene la desventaja de que DRM+ es una tecnología que aún no se encuentra totalmente desarrollada, lo que podría traer problemas al momento de querer difundir el contenido digital, y que la opción de equipos transmisores y receptores es reducida. Lo anterior podría solucionarse adoptando también el sistema DAB, ya que este podría cubrir sin problemas a las radiodifusoras que trabajan por arriba de los 30 MHz y ambos sistemas fueron desarrollados de manera tal que se complementen el uno al otro. Sin embargo, el problema de esto es que el trabajar con dos tecnologías diferentes podría traer problemas en la homologación de las transmisiones.

Por último, el sistema DAB no necesariamente debe sustituir las transmisiones de audio analógico que se realizan actualmente, ya que este sistema está diseñado para trabajar en bandas de frecuencia totalmente diferentes y, por lo tanto, no causaría ningún tipo de interferencia a las señales analógicas de AM y FM

### 3.1.4. Capacidad de transmisión de datos del sistema

Este punto también se considera como un punto importante porque, de esta característica depende la cantidad de servicios (audio o datos) que se pueden enviar, así como de la calidad de audio ofrecida por los radiodifusores.

El sistema DAB ofrece, además de dos diferentes frecuencias de muestreo de audio, cuatro tipos distintos de modo de audio, los cuales permiten mejorar el uso de la capacidad disponible, además el uso de la UEP y EEP durante la codificación, permite optimizar también el uso del espectro, ya que de esta forma es posible asignar niveles de protección a la información que se está transmitiendo. De esta forma, el sistema DAB permite, entre muchos otros servicios de datos, el envío de 9 programas diferentes dentro del sub canal asignado.

Por su parte, el sistema DRM también ofrece una gran variedad de velocidades de transmisión, las cuales dependen del modo de robustez, modulación, codificación y tipo de simulcast (ancho de banda de la señal digital) seleccionado. Entonces, podemos ver que, como ya se mencionó con



anterioridad, para poder explotar al máximo todas las ventajas y tipos de servicios que ofrece este sistema, es necesario optar por un modo de simulcast multicanal; de esta manera podremos obtener mayores velocidades de transmisión, que a su vez permitirán la aplicación de una mayor cantidad de servicios, tanto de audio como de datos.

Finalmente, el sistema IBOC también ofrece diferentes velocidades de transmisión, dependiendo del SM utilizado para la transmisión. Sin embargo, la selección del SM que se utilizará no depende directamente del radiodifusor, aquí el sistema, dependiendo de la cantidad y tipos de datos a transmitir, es el encargado de establecer el SM, y por lo tanto, las características de transmisión de la señal digital. Además, este sistema es el que ofrece la menor cantidad de programas de audio independientes, al ser capaz de transmitir únicamente 3 programas diferentes dentro del mismo canal de transmisión.

### 3.1.5. Servicios de audio y valor agregado que ofrece

Además de mejorar la calidad de audio radiodifundido, otra ventaja que ofrecen estos tres sistemas de radiodifusión es la capacidad de transmitir datos que pueden estar o no relacionados con el servicio de audio, además de ofrecer diferentes servicios de valor agregado.

El sistema IBOC es capaz de manejar 4 tipos de datos diferentes; el primero de ellos es el que abarca todos los datos relacionados con el MPS, es decir, todos aquellos datos que proporcionen información adicional sobre el programa principal de audio; el segundo grupo es el de los datos relacionados con el SPS, donde se engloban los datos destinados a ofrecer mayor información sobre el o los programas complementarios; después tenemos los datos fijos y oportunistas, los cuales pueden utilizarse para ofrecer información sobre anuncios o alarmas de tráfico, clima, etc.; finalmente tenemos los datos relacionados con la identificación de la estación.

En cuanto a los servicios de audio, el sistema IBOC es capaz de enviar 3 programas de audio digital de forma independiente, además de que los receptores son capaces de decodificar tanto las señales analógicas como las digitales (en el caso del modo de transmisión híbrido).

El sistema DRM, por su parte, ofrece una amplia variedad de servicios de datos y de valor agregado. En primer lugar están los datos obligatorios de identificación del programa (esto para permitir la localización de los servicios por parte del usuario, ya que la transmisión se realiza en otro canal de transmisión); después están la EPG, que es una lista diseñada para que el usuario sea capaz de revisar los horarios de transmisión de los servicios de audio y programar recordatorios, Journaline, que es una aplicación que permite al usuario tener acceso a archivos de datos dependiendo de su interés, MOT slideshow, aplicación que permite el envío de imágenes (que pueden ser independientes o no del sistema de audio), canal de tráfico, que está diseñado específicamente para enviar alertas de tráfico al usuario y, finalmente, Diveemo, que es una aplicación que permite al sistema DRM el envío de video.

Además, el sistema DRM permite el envío de hasta cuatro tramas de audio independientes (dentro del mismo canal), y los receptores están diseñados para permitir al usuario la sintonización de servicios de AM y FM analógicos, así como de servicios DAB y DRM.

Por último, el sistema DAB ofrece también una gran variedad de servicios de datos como la relacionada con la identificación del servicio de audio, la radiodifusión de sitios web, un canal de tráfico (TMC/TPEG) y otros que son compatibles con el sistema DRM como la EPG y Journaline. Además, DAB también cuenta con su aplicación para la transmisión de video (DMB) y la capacidad de transmitir servicios bajo demanda gracias a que se apoya en el sistema GSM.

Finalmente, como ya también se mencionó, el sistema DAB es capaz de transmitir hasta 9 programaciones digitales de audio de forma independiente (dentro del mismo canal de transmisión), además de que los receptores son capaces de sintonizar las señales de AM y FM de los sistemas de radiodifusión analógica, así como servicios DRM.



### 3.1.6. Codificación de canal

La codificación de canal es el proceso encargado de introducir, de manera controlada, algo de redundancia en la secuencia de información que pueda ser usada en el receptor para superar los efectos de ruido e interferencia que introduce el canal, es decir, sirve para incrementar la confiabilidad de los datos recibidos y mejorar la fidelidad de la señal recibida.

Así pues, en este caso los tres sistemas de radiodifusión digital utilizan el método COFDM, el cual ofrece varias ventajas en la transmisión de la señal digital. Estas son:

- Reduce la interferencia entre símbolos, la cual es causada por la trayectoria múltiple de la señal.
- Resuelve el problema de los desvanecimientos de la señal.
- Permite agregar a la señal diferentes niveles de protección contra errores.

Para agregar la protección contra errores, los tres sistemas utilizan la codificación convolucional, que es una de las técnicas FEC más adecuadas en canales en los que la señal transmitida se ve corrompida principalmente por ruido gaussiano blanco y aditivo (AWGN).

### 3.1.7. Codificación de fuente

En cuanto a la codificación de fuente se refiere, podemos ver (tabla V.3.1) que también existe cierta similitud. Los tres estándares utilizan la codificación HE-AAC, la cual ofrece una mayor calidad de audio y velocidades de transmisión.

Sin embargo, el sistema DRM ofrece, para los modos DRM30, otros dos codificadores, los cuales tienen buen funcionamiento a bajas tasas de transmisión y sirven únicamente para la codificación de voz, estos son los codificadores CELP y HVXC.

Por su parte, el sistema DAB utiliza el codificador MPEG2 mientras que el sistema DAB+ utiliza el codificador HE-AAC y ofrece, además, 4 modos diferentes de audio, los cuales van desde la transmisión de audio monofónico hasta la transmisión de dos canales independientes de audio.

### 3.1.8. Calidad de audio digital

Dado que la principal ventaja de los sistemas de radiodifusión digital es que permiten el envío de una mayor cantidad de información, es claro que una de las mejoras que ofrecen, además de la inclusión de datos dentro de la transmisión, es el poder ofrecer al usuario una mejor calidad de audio que la que se recibe actualmente con los sistemas de radiodifusión analógicos.

En el caso del sistema IBOC, en las transmisiones digitales de AM, cuando se utiliza la forma de onda totalmente digital, se obtiene una calidad de audio igual a la del sistema FM analógico actual. Para las transmisiones digitales de FM, igual en la forma de onda totalmente digital, se obtiene una calidad de audio igual a la de un CD actual.

Para el sistema DRM, al igual que en el caso anterior, en las transmisiones digitales de AM se puede obtener una calidad de audio igual a la del sistema FM analógico actual, siempre y cuando se utilice el modo simulcast multicanal. El sistema FM digital, por su parte, permite la transmisión de sonido envolvente, siempre y cuando se transmita en modo simulcast multicanal.

Finalmente, el sistema DAB también permite la transmisión de sonido envolvente.

### 3.1.9. Facilidad para la migración de tecnologías y costos adicionales de implementación

En este último rubro de comparación podemos ver (tabla V.3.1) que para las tecnologías que trabajan en las mismas bandas asignadas para la radiodifusión de AM y FM analógicas (IBOC y DRM) existe la posibilidad de adaptar los equipos de transmisión actuales para poder



---

generar las señales híbridas, teniendo una posibilidad de configuración para los sistemas de AM y 3 configuraciones (combinación de bajo nivel, combinación de alto nivel y configuración de antenas separadas) para los sistemas de FM. Para el caso de FM, el radiodifusor está en completa libertad de elegir la configuración que desee, de acuerdo a sus posibilidades y características del sitio de transmisión, sin olvidar que cada una de las diferentes configuraciones tiene diferentes requerimientos tanto de espacio, como de equipos y potencia.

Lo anterior hace que, en caso de ser adoptada cualquiera de las dos tecnologías anteriores, los radiodifusores tengan la oportunidad de ir adecuando poco a poco sus sitios de transmisión, por lo que se puede considerar que los sistemas IBOC y DRM son sistemas flexibles, ya que permiten una transición periódica de tecnologías.

Por su parte, el sistema DAB, dado que utiliza bandas de frecuencias diferentes a las asignadas para la radiodifusión en México, en caso de ser adoptado, requeriría de que los radiodifusores renovaran totalmente todos los equipos utilizados para la generación y transmisión de la señal. Lo anterior podría representar un problema ya que, pueden existir radiodifusoras que no cuenten con el capital suficiente para realizar la compra de equipo de transmisión nuevo, por lo que estarían en desventaja comparadas con aquellas que cuentan con la capacidad de hacer la inversión inmediata.