

Recibido 22/08/2024 Aceptado 19/10/2024

Evaluación técnica de los estándares IBOC y DRM de radiodifusión digital para su implementación en la ciudad de Cali, Colombia¹

Technical evaluation of the IBOC and DRM digital broadcasting standards for implementation in the city of Cali, Colombia

Lennin Miranda²
Mónica Rico Martínez³

Cómo citar:

Miranda, L. & Rico, M. (2024). Evaluación técnica de los estándares IBOC y DRM de radiodifusión digital para su implementación en la ciudad de Cali, Colombia. *Vía Innova*, 12 (1), 88-111.
<https://doi.org/10.23850/2422068X.6826>

¹ El artículo deriva del trabajo de grado asociado al proyecto de investigación "Recomendaciones regulatorias para un esquema de transmisión digital de radiodifusión sonora de acuerdo con las necesidades y recursos físicos de la radio en Colombia", financiado en la convocatoria 908 de MinCiencias y CRC.

² Estudiante de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, lymirandad@unadvirtual.edu.co, Barranquilla.

³ Doctora en ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, monica.rico@unad.edu.co, Bogotá.

Resumen.

En la actualidad en Colombia funciona el sistema de radiodifusión análoga terrestre. Existen más de 1.700 emisoras en el país; entre estas se encuentran las de carácter comercial, las comunitarias y otras de interés público. De igual forma, en este medio de transmisión existen diferentes necesidades identificadas como la optimización del uso del espectro radioeléctrico en las regiones por la facilidad del montaje de los transmisores, la cantidad de emisoras existentes y las solicitudes de licencias de radiodifusión para nuevas emisoras.

Este estudio fue enfocado en la ciudad de Cali, donde se produce el fenómeno de emisoras informales. Según MinTIC, más de 30 de ellas emiten su señal causando gran interferencia al medio.

Mediante esta investigación se analiza la transmisión de radiodifusión sonora digital como alternativa a la solución de las problemáticas presentadas actualmente. En ese sentido, se evaluaron los estándares de radiodifusión digital IBOC (In Band On Channel) y DRM (Digital Radio Mondiale), mediante la comparación de sus características técnicas y la simulación de estos en la ciudad de Cali.

Se presentan las simulaciones realizadas en XIRIO, donde se evaluaron los dos estándares de manera independiente. Para ello, se configuraron 18 emisoras reales de la ciudad de Cali en la banda FM, cubriendo frecuencias desde 88.5 hasta 107.5 MHz. Adicionalmente, se incluyeron cuatro emisoras de municipios cercanos para simular posibles interferencias. Posteriormente, se ejecutó el estudio de multicoberturas e interferencias, tomando 22 puntos de referencia para capturar datos de coordenadas, niveles de recepción de potencia y calidad de la señal.

Palabras clave : Radiodifusión, Emisoras, Espectro, Radioeléctrico, Estándares.

Abstract

Currently, Colombia operates the analog terrestrial radio broadcasting system. There are more than 1,700 stations in our country; among these there are commercial, community and other public interest stations. Likewise, in this transmission medium there are different needs identified such as the inadequate use of the radio spectrum in the regions due to the ease of setting up transmitters, the number of stations added to the requests for broadcasting licenses for new stations.

This study was focused on the city of Cali, where the phenomenon of informal stations occurs. According to the MINTIC, more than 30 of them emit their signal, causing great interference to the medium. Through this research, the transmission of digital sound broadcasting is analyzed as an alternative to the solution of the problems currently presented. In this sense, the digital

broadcasting standards IBOC (In Band On Channel) and DRM (Digital Radio Mondiale) were evaluated, through the comparison of their technical characteristics and the simulation of these in the city of CALI. The simulations carried out in XIRIO are presented, where the 2 standards were evaluated independently. To do this, 18 real stations from the city of Cali were configured in the FM band, covering frequencies from 88.5 to 107.5 MHz. Additionally, 4 stations from nearby municipalities were included to simulate possible interferences. Subsequently, the multi-coverage and interference study was executed, taking 22 reference points to capture data on coordinates, power reception levels and signal quality.

Keywords : Broadcasting, stations, spectrum, radio, standards.

1. Introducción

La radiodifusión sonora análoga ha sido el medio de comunicación tradicional y que llega a todos los rincones de Colombia, sin embargo, esta tecnología ya está entrando en etapa de obsolescencia de componentes y dispositivos en el mercado. El mundo está migrando a radiodifusión sonora digital y Colombia no puede ser la excepción; cada vez la demanda y las expectativas del usuario final son más altas, estos exigen mayor calidad, funcionalidad y más información interactiva. Estas y muchas ventajas más son las que ofrece la radiodifusión digital, agregando la optimización del uso del espectro, mejora en la calidad del audio, reducción del consumo de energía, uso de formatos multimedia, entre otras.

En Colombia existe una problemática con el uso inadecuado del espectro radioeléctrico, donde concurren más de 1700 emisoras del sistema de radiodifusión análoga emitiendo su señal en un rango muy pequeño de frecuencia, sumado a las solicitudes de licencias de radiodifusión para nuevas emisiones.

Este estudio está enfocado en una muestra tomada de la ciudad de Cali, donde se observa el fenómeno de emisoras informales. En el Valle del Cauca existen más de 30 emisoras que no tienen ningún tipo de control por parte del Estado (El país, 2018). Algunos de los perjuicios que acarrear las emisoras ilegales en Colombia es que funcionan clandestinamente, interfieren la señal de otros medios, emiten contenido sin control, usan el espectro radioeléctrico en cualquier área geográfica, no tributan impuestos, incurren en competencia desleal, incumplen la normatividad vigente y no pagan permisos ni derechos de autor. Según el DANE durante el año 2018, en el Valle del Cauca fueron decomisados más de 100 equipos que captaban la señal y la emitían, 27 emisoras que operaban

ilegalmente fueron cerradas por la Fiscalía y por medio del Código Penal y la Ley 1341 de 2009, a los dueños de estas estaciones radiales les imputaron sanciones administrativas y penales.

A pesar del gran esfuerzo de MinTIC por dar fin a esta problemática, la gran demanda de solicitudes de nuevas licencias de radiodifusión y el déficit de bandas para licenciarlas, son el justificante para los dueños de algunas de las estaciones ilegales que argumentan no encontrar más opción que emitir su señal omitiendo el cumplimiento de la ley.

Con estos antecedentes de interferencias, emisoras ilegales y la necesidad de ampliar la capacidad del espectro para nuevas emisiones, la transición de la radiodifusión analógica a digital toma gran relevancia desde varios puntos de vista: es esencial en la eficiencia del uso de los recursos, el desarrollo tecnológico, la calidad de los servicios de radiodifusión, la sociedad y la cultura en general del país.

Se plantea entonces un estudio técnico, consciente y objetivo, comparando dos estándares usados a nivel mundial enfocados en una muestra: la ciudad de Cali. Este estudio está basado en la herramienta Xirio, desarrollada por Aptica. Es un software web libre que facilita la planeación, planificación y cartografía digital, aplicada al diseño de tecnologías inalámbricas como la radiodifusión sonora.

92

El propósito de utilizar esta herramienta para la simulación de dos tecnologías de radiodifusión digital es analizar las características de la implementación, evidenciar por medio del simulador su funcionamiento y establecer las ventajas y conclusiones respecto a este análisis.

Se evalúan los estándares de radiodifusión digital IBOC y DRM, mediante la comparación de sus características técnicas y la simulación de estos en la ciudad de Cali en la banda de Frecuencia Modulada de 88 a 108 MHz.

Las prácticas desarrolladas en la herramienta de simulación servirán de guía para el estudio, comprensión y viabilización de la implementación de la radiodifusión digital sonora en la ciudad de Cali.

En el presente artículo se presentan los principales resultados alcanzados con la simulación, su respectivo análisis y comparación, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones de la adopción de este tipo de tecnologías en Colombia.

2. Metodología

Para el desarrollo del proyecto, se empleó como estrategia metodológica el ciclo PHVA: Planear, Hacer, Verificar y Actuar, el cual se utiliza para resolver un problema, mejorar procesos o implementar cambios, como es el presente caso.

En la primera etapa se desarrolló la Planeación del proyecto, se diligenció el formato de la propuesta de proyecto de investigación teniendo en cuenta los objetivos planteados. Aquí se documentó la situación actual de la radiodifusión sonora en Cali, así como la información más importante de los estándares de radiodifusión sonora digital seleccionada.

En la segunda etapa se establecieron las acciones para la implementación del proyecto y se diseñaron las pruebas y se planearon y ejecutaron las simulaciones. En la tercera etapa se realizó el análisis de las simulaciones efectuadas, evaluando los resultados mediante comparación.

En la última etapa, Actuar, se analizó cómo se vinculan los resultados al proyecto de investigación macro de MinCiencias y la CRC.

3. Referentes Teóricos

A continuación, se exponen los principales conceptos que se tuvieron en cuenta en el desarrollo del trabajo.

3.1 Radiodifusión sonora digital

En la radiodifusión sonora digital, la señal que se conoce como portadora, continúa siendo una señal analógica de alta frecuencia, sin embargo, la señal moduladora (información) cambia a un formato digital, es decir, la información transmitida es digital sin importar el canal empleado en la emisión. (Estándares de radiodifusión digital en FM - Fundamentos de digital en FM. Torres Cuenca, A, 2017).

Una de las variables para tener en cuenta en la radiodifusión sonora digital, es el control de la sonoridad del audio, el cual se ha convertido en un tema importante de analizar. Con respecto a esto, Sang Woon y otros (2015) indican que el volumen se refiere a la fuerza percibida de una pieza de audio (música, discurso, efectos de sonido, etc.) que depende de varios parámetros tales como contenidos de frecuencia, duración y nivel entre otras cosas. Se sabe que la medición de audio en la radiodifusión normalmente se basa en la medición de picos (PPM), por lo tanto, los medidores de pico de audio actuales no reflejan el volumen. Es así como se establece una solución la cual se fundamenta en cambiar el modelo de medición para mezclar a un nivel de sonoridad común a través de su normalización.

3.2 Estándar IBOC

In-band on-channel (IBOC) es un método híbrido de transmisión de señales de radio digital y de radio analógica simultáneamente en la misma frecuencia. El nombre hace referencia a las nuevas señales digitales que se transmiten en la misma banda de AM o FM (en banda) y se asocian con un canal de radio existente. Al utilizar subportadoras o bandas laterales digitales adicionales, la información digital se “multiplexa” en las señales existentes, evitando así la reasignación de las bandas de transmisión.

IBOC se basa en áreas no utilizadas del espectro existente para enviar sus señales. Esto es particularmente útil en el estilo FM de América del Norte, donde los canales están muy espaciados a 200 kHz, pero usan solo alrededor de 50 kHz de ese ancho de banda para la señal de audio. En la mayoría de los países, la separación entre canales de FM puede ser tan cercana como 100 kHz, y en AM es de solo 10 kHz. Si bien todos estos ofrecen algo de espacio para transmisiones digitales adicionales, la mayor parte de la atención en IBOC está en la banda FM en los sistemas norteamericanos; en Europa y muchos otros países, se asignaron bandas completamente nuevas para sistemas totalmente digitales.

3.3 Estándar DRM

El DRM es un estándar abierto desarrollado por ETSI para la transmisión de audio digital en banda estrecha. Está desarrollado para reemplazar la transmisión FM analógica. Transmite audio en onda corta y onda media. Admite varios anchos de banda que van desde 4,5 KHz, 5 KHz, 9 KHz, 10 KHz, 18 KHz, hasta 20 KHz en cuatro modos diferentes. Estos diferentes anchos de banda brindan soporte para diferentes velocidades de bits, a saber: el ancho de banda de 9 a 10 KHz admite velocidades de bits de 8 a 20 Kbps, el ancho de banda de 2 a 4 KHz admite de 2 a 4 kbps y el de 18 a 20 KHz admite de 20 a 80 Kbps. DRM proporciona una calidad de sonido cercana a FM.

Además del audio, los datos se pueden mostrar en el receptor DRM, cuyas especificaciones admiten técnicas de codificación de audio muy eficientes, a saber: Meltzer Moser MPEG-4, HE AAC V2, HVXC (Codificación de excitación vectorial armónica), CELP (Predicción lineal excitada por código), etc. DRM (Digital Radio Mondiale) admite páginas HTML, transmisión de datos, etc. (RF Wireless World, 2012).

El sistema DRM es un sistema de radiodifusión de sonido digital flexible para uso en las bandas de radiodifusión terrestre por debajo de 30 MHz. Es importante reconocer que el receptor de radio de consumo del futuro cercano deberá ser capaz de decodificar cualquiera o todas las

transmisiones terrestres, es decir, en banda digital estrecha (para <30 MHz RF), banda digital más ancha (para >30 MHz RF) y analógico para las bandas LF, MF, HF y VHF/FM. El sistema DRM será un componente importante dentro del receptor. Es poco probable que un receptor de radio de consumo diseñado para recibir transmisiones terrestres con capacidad digital excluya la capacidad analógica.

En el receptor de radio del consumidor, el sistema DRM brindará la capacidad de recibir radio digital (sonido, datos relacionados con programas, otros datos e imágenes fijas) en todas las bandas de transmisión por debajo de 30 MHz. Puede funcionar de manera independiente, pero, como se indicó anteriormente, es más probable que forme parte de un receptor más completo, como la mayoría de los receptores actuales que incluyen capacidad de recepción analógica de banda AM y FM.

4. Resultados

En la actualidad la ciudad de Cali cuenta con 38 emisoras, de las cuales 19 son emisoras FM y 19 son emisoras AM. En este trabajo se realizó configuración de las características técnicas de todas las emisoras en la banda de FM; en el momento del estudio, en ese sentido se configuraron 18 emisoras tanto con las características técnicas del estándar IBOC como con las características técnicas del estándar DRM. A continuación, se evidencian los principales resultados de la simulación con todas las estaciones de radiodifusión encendidas.

El proyecto fue diseñado considerando las condiciones reales y la ubicación de las emisoras de Cali, incluyendo posibles interferencias y factores geográficos como se muestra en la Tabla 1. También se tuvieron en cuenta aspectos técnicos como el tipo de antena, altura, orientación, inclinación eléctrica, frecuencia, polarización y parámetros de los transmisores y receptores. En la Figura 1 se presenta además un ejemplo configuración de receptor.

Tabla 1. Ubicación de Emisoras FM Ciudad de Cali

Clase	Frecuencia (MHz)	Longitud	Latitud	PRA (kW)
A	88.5	76° 32' 41,00" W	3° 28' 3,10" N	22
A	90.5	76° 33' 55,35" W	3° 25' 59,46" N	15
A	91.5	76° 33' 59,10" W	3° 25' 56,30" N	15
A	92.5	76° 33' 58,58" W	3° 25' 56,91" N	15
D	93.8	76° 33' 39,57" W	3° 22' 46,61" N	0,02
A	95.5	76° 33' 55,35" W	3° 25' 59,47" N	15

Clase	Frecuencia (MHz)	Longitud	Latitud	PRA (kW)
D	96.0	76° 28' 47,20" W	3° 25' 17,23" N	0,015
A	96.5	76° 33' 53,10" W	3° 26' 9,30" N	15
A	97.5	76° 33' 57,76" W	3° 25' 57,39" N	50
A	98.5	76° 33' 58,57" W	3° 25' 56,90" N	15
D	99.5	76° 33' 24,91" W	3° 25' 58,96" N	0,1
A	101.5	76° 33' 52,00" W	3° 26' 9,00" N	15
A	102.0	76° 33' 58,58" W	3° 25' 56,91" N	15
C	104.0	76° 33' 56,30" W	3° 25' 59,90" N	5
A	104.5	76° 34' 0,30" W	3° 25' 57,10" N	30
B	105.3	76° 32' 44,96" W	3° 28' 0,88" N	10
A	106.5	76° 33' 56,96" W	3° 25' 57,21" N	15
A	107.5	76° 31' 57,90" W	3° 20' 53,08" N	10,1

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Configuración de los parámetros de radio del transmisor Flexiva FLX

Parámetros de radio

Antena:

ANTENA DAMI DISPALD

Altura antena:

30

m

Orientación:

100

°

Inclinación mecánica:

2

°

Inclinación eléctrica:

0

°

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a:

Nivel de aguas

Usar altura de edificio:

Capa de elevación (MDE)

Altura edificio:

0

m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias

88.500 Mhz

Canal

1

Polarización:

Cruzada

Feeder:

Cable Elas 3/8"

Longitud del feeder:

30

m

Pérdidas del feeder:

1.51

dB

Pérdidas pasivos:

0

dB

Potencia:

40

KW

Fuente: Adaptado de Xirio-online (2024)

4.1 Simulación del estándar IBOC

En la Figura 2(a), se observan 18 emisoras en la ciudad de Cali, desde el dial 88.5 hasta 107.5 en la banda FM. También se configuran cuatro emisoras adicionales con los mismos parámetros, para simular posibles interferencias de emisiones de los corregimientos aledaños a la ciudad de Cali como Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí, estas últimas sombreadas en amarillo. En la Figura

2(b) se expone la simulación utilizando el estándar de radiodifusión digital IBOC previamente configurado para la ciudad de Cali. Se establecieron los parámetros de transmisión, recepción, zona de cobertura y rangos de señal, teniendo en cuenta las características técnicas de los equipos reales como el transmisor Flexiva FLX (2024).

Figura 2. 2(a) Simulación estándar IBOC en Cali. 2(b) Simulación de una emisora empleando IBOC Híbrido en la banda de FM.



Fuente: adaptado de Xirio-online (2024)

Los colores de la Figura 2(b) representan o definen la intensidad de la señal que recibe un receptor en un punto determinado del rango de cobertura. El color verde representa una excelente recepción, que va de -70 dBW hasta infinito. El color amarillo indica una señal aceptable de recepción que va de -70 dBW hasta -90 dBW. El color rojo describe una señal baja que va desde -90 dBW (umbral) hasta -110 dBW. El color negro indica la carencia de señal, al situarse por debajo del umbral establecido: -110 dBW a -120 dBW.

Adicionalmente, se realizó una simulación con todas las estaciones de radio simuladas, ejecutando un estudio multitransmisor. En la Figura 3, se reflejan tres colores que representan o definen la intensidad de la señal que recibe un receptor en un punto determinado del rango de cobertura. El color verde representa una excelente recepción, el color amarillo indica una señal aceptable de recepción y el color rojo describe una señal baja en potencia de recepción.

Figura 3. de señal IBOC – FM



Fuente: adaptado de Xirio-online (2024)

Se destaca un excelente cubrimiento prácticamente en toda la ciudad de Cali y los municipios circundantes. Se observa que los niveles de recepción son óptimos en lugares como el Parque Flora y Loma de la Cruz; sin embargo, solo se logró alcanzar un nivel aceptable o bueno en el área de Bajo Jordán, lo cual se atribuye a su proximidad con la cordillera Farallones de Cali, una región caracterizada por su topografía boscosa y montañosa. La implementación de este estándar aseguraría una cobertura total de la ciudad de Cali.

98

Con el fin de analizar la interferencia cocanal, la Tabla 2 presenta una lista de cuatro emisoras que simulan posibles interferencias de emisiones de los corregimientos aledaños a la ciudad de Cali: Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí.

Tabla 2.Emisoras poblaciones aledañas o posibles señales interferentes

Ubicación	Frecuencia (MHz)	Longitud	Latitud	Emisora
Yumbo	107.0	76° 29' 41,16" W	3° 35' 1,09" N	Yumbo Stereo
Palmira	90.8	76° 18' 20,76" W	3° 32' 2,5" N	Urbana Stereo
Candelaria	92.1	76° 20' 49,56" W	3° 24' 28,85" N	Radio Buena
Jamundí	107.0	76° 32' 24,86" W	3° 15' 42,62" N	Universo Stereo

Fuente: elaboración propia

Una vez simuladas cada una de las emisoras, se procede a realizar un estudio de interferencia, teniendo en cuenta las 18 emisoras de la banda FM y las cuatro emisoras ubicadas en municipios aledaños. Posterior a ello, se tomaron 22 puntos de referencias en el área de cálculo y cobertura, para capturar los datos de coordenadas y el nivel de interferencias. Como se evidencia en la Figura 4, el color verde no reflejó interferencias con este estándar en la ciudad de Cali y municipios aledaños.

Figura 4. Toma de muestras para estudio de interferencias IBOC



Fuente: adaptado de Xirio-online (2024)

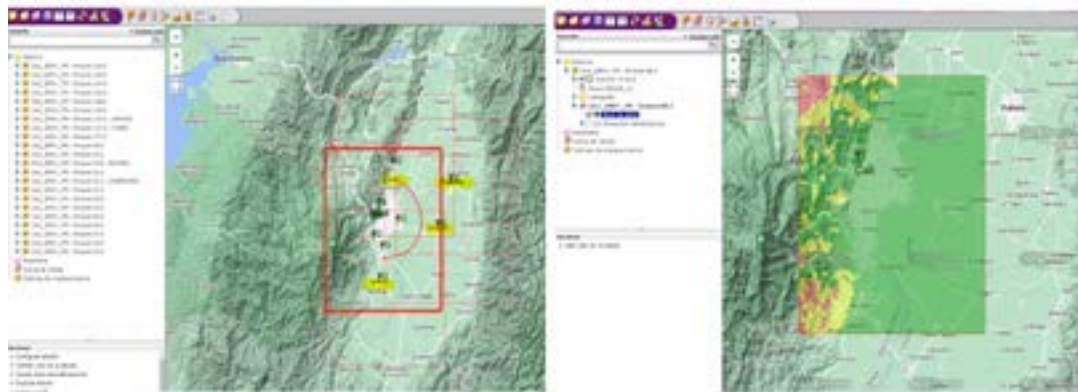
4.2 Simulación del estándar DRM+

En la Figura se observan 18 emisoras en la ciudad de Cali, desde el dial 88.5 hasta 107.5 en la banda FM. También se configuran cuatro emisoras adicionales con los mismos parámetros para simular posibles interferencias de emisiones de los corregimientos aledaños a la ciudad de Cali como son: Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí, estas últimas sombreadas en amarillo. Asimismo, se configuran los mismos rangos de recepción de potencia para establecer la calidad de recepción de las señales simuladas, mencionadas en la sección anterior.

Como se realizó con el estándar IBOC, aquí también se tomaron 22 puntos de referencias en el área de cálculo y cobertura para capturar los datos de coordenadas y el nivel de recepción en potencia. De igual forma, se realizó un estudio multitransmisor como se evidencia en la Figura 6 con todos los transmisores encendidos.

En la Figura 5(b) se describe la simulación utilizando el estándar de radiodifusión digital DRM previamente configurado para la ciudad de Cali. Se seleccionaron los parámetros de transmisión, recepción, zona de cobertura y rangos de señal, siguiendo las características técnicas de los equipos reales de implementación Flexiva High Power (2024).

Figura 5. (a) Simulación estándar DRM+ en Cali. 5(b) Simulación de una emisora empleando DRM+ en la banda de FM



Fuente: adaptado de Xirio-online (2024)

En la Figura 6 se observa un excelente cubrimiento prácticamente en toda la ciudad de Cali y municipios aledaños, vemos como en parque Flora y Loma de la Cruz se tienen los mejores niveles de recepción. Todos los valores se encuentran en el rango de señal Excelente. Jamundí obtuvo el nivel más alto de potencia de señal recibida con -70.04 dBW debido a su ubicación, este es un corregimiento en las afueras de la ciudad de Cali. Con este estándar se garantizaría cobertura total de la ciudad de Cali.

Figura 6. Rango de señal DRM+ FM



Fuente: Adaptado de Xirio-online (2024)

En la Figura 7, se establecen 22 puntos de referencias en el área de cálculo y cobertura para capturar los datos de coordenadas y el nivel de interferencias. Se busca identificar posibles interferencias cocanal producidas por emisoras de cuatro municipios aledaños.

Figura 7. Toma de muestras para estudio de interferencias DRM+.



Fuente: adaptado de Xirio-online (2024)

Se evidencia que en este estándar en presencia de emisoras de municipios aledaños, tampoco se presentan interferencias.

5. Discusión Y Análisis

Se realiza análisis comparativo de las simulaciones. El resultado de las simulaciones realizadas de los dos estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM en la ciudad de Cali se presentan a continuación.

5.1 Análisis de cobertura de señal recibida IBOC vs DRM+

Este proyecto se diseñó teniendo en cuenta las condiciones actuales de las emisoras de la ciudad de Cali, exponiéndolas a posibles interferencias y condiciones geográficas reales. Los resultados de las simulaciones en el estudio de coberturas, multicoberturas e interferencias de los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM.

La Tabla 3 describe el posible escenario de recepción del sistema de radiodifusión digital de los estándares IBOC y DRM+ en la banda FM. Se observa un excelente cubrimiento prácticamente en toda la ciudad de Cali y municipios aledaños, en el que se evidencia que en las zonas de Parque Flora y Loma de la Cruz se tienen los mejores niveles de recepción. Todos los valores se encuentran en el rango de señal Excelente. Jamundí, corregimiento ubicado a las afueras de la ciudad de Cali, obtuvo el nivel más bajo de potencia de señal recibida con -70.04 y -69.85 dBW según estándar debido a su ubicación. De acuerdo con el promedio de cobertura obtenido, se puede inferir que con muy poco margen de diferencia el sistema IBOC obtuvo la mejor media -45.52 dB, pero con los dos estándares se garantizaría cobertura total de la ciudad de Cali y con un nivel de señal excelente en toda el área en estudio.

Tabla 3. Estudio comparativo de cobertura de estándares IBOC vs DRM

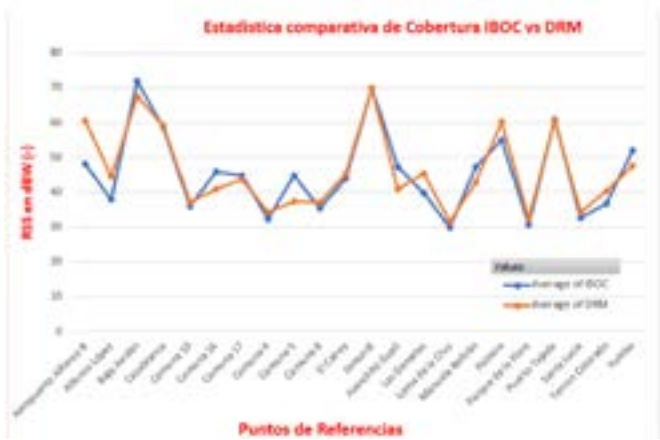
Coordenadas	Puntos de Referencias	IBOC dBW	DRM dBW
"03°29'05.92"N - 076°31'23.55"W	Parque de la Flora	30.74	32.42
"03°28'43.09"N - 076°29'43.09"W	Comuna 5	44.66	37.24
"03°28'16.82"N - 076°30'41.12"W	Comuna 4	32.33	34.25
"03°26'55.39"N - 076°28'18.99"W	Juanchito Gualí	47.19	41.01
"03°26'56.01"N - 076°30'03.43"W	Comuna 8	35.42	37.07
"03°26'34.79"N - 076°32'14.23"W	Loma de la Cruz	29.91	31.40
"03°25'09.29"N - 076°31'38.59"W	Comuna 10	36.07	37.16
"03°24'44.61"N - 076°27'54.89"W	Manuela Beltrán	47.15	42.86
"03°23'38.37"N - 076°31'06.87"W	Comuna 16	45.77	40.89
"03°22'12.24"N - 076°33'33.60"W	Bajo Jordán	72.01	67.50
"03°22'06.45"N - 076°30'59.45"W	Comuna 17	44.85	43.70
"03°24'19.70"N - 076°29'40.12"W	Las Gemelas	39.87	45.4
"03°23'00.12"N - 076°31'06.87"W	El Caney	43.87	45.46
"03°18'54.74"N - 076°32'28.36"W	Casablanca	58.52	59.11
"03°27'42.81"N - 076°28'52.69"W	Alfonso López	37.99	44.53
"03°27'19.36"N - 076°33'21.20"W	Terrón Colorado	36.73	40.45
"03°26'52.68"N - 076°30'58.83"W	Santa Lucía	32.62	34.28
"03°32'08.50"N - 076°23'14.11"W	Aeropuerto Alfonso B	48.17	60.42
"03°32'53.68"N - 076°29'44.29"W	Yumbo	51.87	47.69

Coordenadas	Puntos de Referencias	IBOC dBW	DRM dBW
“03°32’22.26”N - 076°17’52.55”W	Palmira	54.94	60.19
“03°13’19.75”N - 076°24’55.25”W	Puerto Tejada	60.80	60.68
“03°15’55.23”N - 076°32’35.02”W	Jamundí	69.85	70.04
Promedio Cobertura		45.52	46.080

Fuente. Autor

En la Figura 8 se pueden apreciar con mayor claridad los resultados de esta comparativa y la similitud estadística del nivel de cobertura de los estándares IBC y DRM+. El eje X representa los puntos de referencia definidos para tomar la potencia recibida y el eje Y representa el valor de potencia recibida en el punto específico. La línea azul representa el estándar IBOC y la línea roja el estándar DRM.

Figura 8. Comparativa estadística de cobertura de estándares IBOC vs DRM



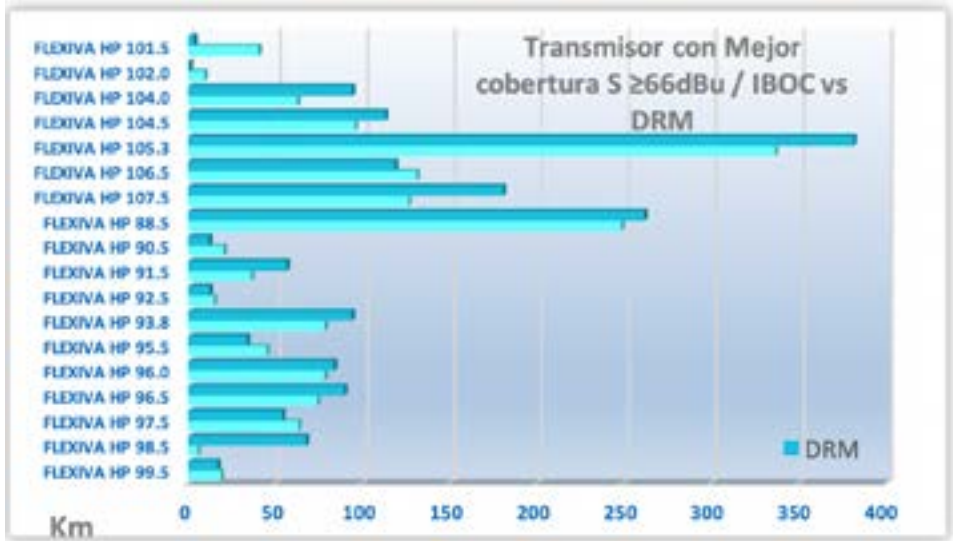
Fuente: elaboración propia

5.2 Análisis de cobertura mejor servidor de señal transmitida IBOC vs DRM+

Dentro de las mediciones realizadas también se estudió la estación de radiodifusión sonora con mejor cobertura, es decir, la estación que genera mejor potencia de recepción o lo que el software define como “mejor servidor”. La Figura 9 brinda resultados de análisis comparativo a nivel de transmisores de los dos estándares IBOC vs DRM+. Se observa cómo los transmisores Flexiva del dial 105.3 en los dos sistemas, tienen mayor alcance de cobertura y mejor rendimiento que las

demás estaciones, ya que presenta la mejor ubicación estratégica en la ciudad de Cali, por ende, menos obstáculos para que la señal llegue a mayor distancia, como es el caso de 380 km DRM y 336 Km el estándar IBOC, con niveles de RSSI mayor o igual a -66 dBu.

Figura 9. Transmisor mejor cobertura



Fuente: elaboración propia

5.3 Análisis de Interferencias de señal recibida IBOC vs DRM+

En cuanto a los estudios de interferencia, se tomó la referencia en 22 puntos tanto del estándar DRM como del estándar IBOC. Sin embargo, en dichos puntos la interferencia para los dos estándares fue infinita. Esto significa que un mayor valor indica que la señal que se recibe tiene la misma calidad que la señal que se transmite. La Tabla 4 describe el posible escenario de recepción del sistema de radiodifusión digital de los estándares IBOC y DRM+ en la banda FM.

Se observa un excelente rendimiento de funcionamiento y recepción de la calidad de la señal respecto a señales interferentes, así como un cubrimiento prácticamente total en la ciudad de Cali y municipios aledaños. En todo el espacio de cobertura estudiado, se presenta un nivel de señal excelente, mayor o igual a -66 dBu, con valores tendientes a infinito. Todos los valores se encuentran en el rango de señal Excelente. Según el estudio de interferencia obtenido, se puede inferir que ambos estándares presentan gran rendimiento de funcionamiento e interferencia nula en la ciudad de Cali y con un nivel de señal excelente en toda el área en estudio.

Tabla 4. Estudio comparativo de interferencia de estándares IBOC vs DRM

Coordenadas	Punto de referencia	IBOC RSSI (dB)	DRM+ RSSI (dB)
"03°29'05.92"N – 076°31'23.55"W	Parque de la Flora	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°28'43.09"N – 076°29'43.09"W	Comuna 5	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°28'16.82"N – 076°30'41.12"W	Comuna 4	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°26'55.39"N – 076°28'18.99"W	Juanchito Gualí	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°26'56.01"N – 076°30'03.43"W	Comuna 8	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°26'34.79"N – 076°32'14.23"W	Loma de la Cruz	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°25'09.29"N – 076°31'38.59"W	Comuna 10	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°24'44.61"N – 076°27'54.89"W	Manuela Beltrán	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°23'38.37"N – 076°31'06.87"W	Comuna 16	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°22'12.24"N – 076°33'33.60"W	Bajo Jordán	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°22'06.45"N – 076°30'59.45"W	Comuna 17	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°24'19.70"N – 076°29'40.12"W	Las Gemelas	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°23'00.12"N – 076°31'06.87"W	El Caney	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°18'54.74"N – 076°32'28.36"W	Casablanca	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°27'42.81"N – 076°28'52.69"W	Alfonso López	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°27'19.36"N – 076°33'21.20"W	Terrón Colorado	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°26'52.68"N – 076°30'58.83"W	Santa Lucía	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°32'08.50"N – 076°23'14.11"W	Aeropuerto Alfonso B	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°32'53.68"N – 076°29'44.29"W	Yumbo	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)

Coordenadas	Punto de referencia	IBOC RSSI (dB)	DRM+ RSSI (dB)
"03°32'22.26"N – 076°17'52.55"W	Palmira	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°13'19.75"N – 076°24'55.25"W	Puerto Tejada	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
"03°15'55.23"N – 076°32'35.02"W	Jamundí	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
Promedio Interferencia		dBW (Excelente)	dBW (Excelente)

Fuente: Elaboración propia

5.4 Análisis estadístico de estudio comparativo de estándares IBOC vs DRM+

Para realizar el análisis estadístico, se tuvieron en cuenta las medidas de dispersión como varianza y desviación estándar tanto de las potencias recibidas que indican cobertura, como de la interferencia. También se contemplaron variables estadísticas como el promedio, límite máximo y mínimo para cálculos y obtención de resultados. En la Tabla 5 se sintetiza la comparación de los análisis estadísticos realizados.

Tabla 5. Tabla comparativa de resultados de funcionamiento IBOC vs DRM

Factores	IBOC	DRM+
Modo de operación	Híbrido Fm	Híbrido Fm
Cobertura, mejor servidor	336 km – 66dBu	380 km – 66dBu
Interferencia $S \geq -66\text{dBu}$	Infinity	Infinity
Interferencia, mejor servidor $S \geq -26\text{dBu}$	454 km	400 km
Potencia promedio recepción	-45.52 dBW	-46.08 dBW
Varianza	136.43	129.41
Desviación estándar	11.68	11.38

Fuente: elaboración propia

La Figura 10 muestra un resumen la comparativa de datos estadísticos con este Dashboard realizado mediante una hoja de cálculo de Excel. Se observan los datos más relevantes del resultado de la comparativa entre los dos estándares como: desviación estándar, varianza, estudio de coberturas e interferencias.

Figura 10. Dashboard del proyecto de investigación – Comparativa de estándares



Fuente: elaboración propia

En esta comparativa de datos estadísticos se observa un desempeño similar de los dos estándares, teniendo en cuenta que tanto IBOC como DRM+ trabajan en modo de operación FM híbrido, por lo que se puede deducir lo siguiente:

- La cobertura del servidor DRM+ obtuvo un mayor alcance según mejor servidor con 380 km de cobertura con mayor o igual potencia de recepción de -66 dBW.
- La señal recibida por el receptor en dBu de los dos estándares respecto a posibles señales interferentes presenta un nivel de señal excelente mayor o igual a -66 dBu, valores tendientes a infinito.
- Respecto a la relación señal a ruido o el análisis de señales interferentes, el mejor servidor que obtuvo mayor alcance y calidad de recepción de mayor o igual a -26 dBu fue el del estándar IBOC a una distancia de 454 Km.
- IBOC también obtuvo mejor rendimiento en cobertura con un promedio de potencia de señal recibida de -45.52 dBW, rango de calidad de señal excelente.
- Por último, se tienen los datos de varianza, mayor o menor desviación de la señal recibida respecto al transmisor y de este se desprende la desviación estándar, que es la medida de dispersión. Este valor ideal es el más cercano a cero. DRM+ se impone con un margen muy pequeño con 11.38 respecto a 11.68 de IBOC.

- Los dos estándares obtuvieron niveles muy dispersos y variabilidad de la potencia de la señal alrededor del promedio obtenido en cada estudio.
- Si el objetivo es tener una señal más estable en todo el territorio, una desviación estándar menor sería deseable. Se sugiere investigar más a fondo las causas de esta variabilidad para mejorar la estabilidad de la señal en la ciudad de Cali.

Uno de los grandes desafíos que enfrenta el país es la toma de decisiones informadas sobre la adopción de un estándar de radio digital que contemple todos los aspectos técnicos necesarios para responder a las demandas y necesidades del contexto nacional. A continuación, se enuncian algunos de los factores clave a considerar en este proceso: disponibilidad del espectro, inversión en infraestructura, mercado de usuarios, migración gradual, modificación del marco regulatorio. Adicionalmente se deben ajustar aspectos como las bandas de frecuencia, la cantidad de canales de información, el ancho de banda, la arquitectura de la red, las zonas de cobertura, los servicios, y los niveles de protección.

6. Conclusiones

La ciudad de Cali no posee ningún estudio técnico que permita establecer qué tipo de estándar de radio digital se ajusta más a las necesidades de los diferentes radioescuchas. Con todo lo indicado, se puede decir que el impacto que tiene este proyecto sobre la población caleña es alto e innovador, ya que infiere la incursión de una nueva tecnología.

La radiodifusión digital ofrece una calidad de sonido superior a la analógica, mejorando la experiencia auditiva del usuario. Además, impulsa la innovación tecnológica en el sector, genera empleo y beneficia a fabricantes y profesionales en telecomunicaciones. Facilita también el acceso a contenido multimedia e interactivo como información adicional, datos de emergencia, clima y noticias. También optimiza el uso del espectro radioeléctrico, ahorra energía, permite la transmisión de múltiples programas en un solo canal, ofrece señales sin interferencias y una sintonización más rápida.

La evaluación de la comparativa técnica de los estándares IBOC vs DRM en la banda FM, mediante la simulación en XIRIO de su funcionamiento en la ciudad de Cali, muestra que ambos ostentan capacidades avanzadas en la radiodifusión sonora digital y presentan mucha similitud en términos de eficiencia espectral, cobertura y calidad de señal.

En la comparación de los estándares IBOC y DRM+, ambos muestran un desempeño similar en modo FM híbrido. Sin embargo, DRM+ ofrece una mayor cobertura de mejor servidor, alcan-

zando hasta 380 km con una potencia de recepción mínima de -66 dBW. La calidad de la señal recibida por ambos estándares es excelente en términos de interferencia, con niveles superiores a -66 dBu. En cuanto a la relación señal a ruido, IBOC destaca con un mejor rendimiento, logrando una recepción de hasta 454 km con un nivel de señal de al menos -26 dBu. Además, IBOC presenta una cobertura superior con un promedio de potencia de señal de -45.52 dBW, lo que indica una calidad excelente.

El estándar IBOC utiliza una técnica de supresión de banda lateral que reduce la amplitud de las bandas laterales de la señal digital para reducir la interferencia de cocanal, al menos, lo que disminuye la interferencia con la señal analógica. En cuanto a la interferencia de canal adyacente, estos estándares implementan técnicas de filtrado digital para restringir la energía de la señal digital en los canales contiguos, evitando así la interferencia con otras señales de radio presentes en esos canales.

En relación con la variabilidad de la señal, DRM+ tiene una desviación estándar ligeramente menor (11.38) en comparación con IBOC (11.68). Aunque ambos estándares muestran variabilidad en la potencia de la señal, una desviación estándar más baja sería ideal para una mayor estabilidad. Si el objetivo es tener una señal más estable en todo el territorio, una desviación estándar menor sería deseable. Es por esta razón que se sugiere investigar más a fondo las causas de esta variabilidad para mejorar la estabilidad de la señal en la ciudad de Cali.

Mediante la evaluación de los dos estándares, IBOC y DRM, la recopilación detallada de datos técnicos, el estudio de la situación actual del uso del espectro radioeléctrico en la ciudad de Cali, el diseño de las pruebas de simulación, la simulación en XIRIO y la coexistencia de sistemas y el análisis comparativo de dicha simulación, se extrae un gran cúmulo de detalles y bases sólidas para concluir que IBOC es el estándar que toma este proyecto como opción entre los dos estándares estudiados. A pesar de que son muy parecidos y los resultados arrojaron datos muy similares, se elige IBOC por el análisis de antecedentes realizado y además porque la experiencia en países vecinos ha sido altamente positiva; por ende, se presume que ofrecerá una transición más efectiva hacia la radiodifusión digital en Cali y en Colombia.

7. Bibliografía

Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. (2019). Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. *Computers in Industry*, 108, 21-36. <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=So166361518305517&lang=es&site=edslive&scope=site>

- RTVC. (2020). Conozca la Historia de la Radio en Colombia. RTVC Sistema de Medios Públicos. Recuperado de: <https://www.rtv.gov.co/noticia/conozca-la-historia-de-la-radio-en-colombia>
- Padilla, F. (2019). El marco metodológico. [OVI]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/30473>
- Pérez, L. Pérez, R. y Seca, M. V. (2020). Metodología de la investigación científica. Editorial Maipue. (pp. 130-155).
- (2022). De cómo la radio sorprendió a la Humanidad - Naturgy. (s/f). Recuperado 25 de marzo de 2024 de: https://www.naturgy.com/de_como_la_radio_sorprendio_a_la_humanidad
<https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/138497?page=130>
- Rojas, G. (2023). (2023). Metodología de la investigación para anteproyectos. 1. Universidad Abierta para Adultos (UAPA). (pp. 96-121). <https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/229656?page=96>
- Camelo, E. (2018). El marco referencial. Ibagué, Col. UNAD.[OVA]. <http://hdl.handle.net/10596/18823>
- Durán Bobadilla, L. P., y Mancipe López, L. D. (2018). Enfoques teóricos de diseño que propenden hacia el desarrollo sostenible de Latinoamérica. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (69), 1-6. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ccedce/n69/n69a14.pdf>
- Rojas, G. (2023). Metodología de la investigación para anteproyectos. 1. ed. [S. l.]: Universidad Abierta para Adultos (UAPA), 2023. (pp. 132-160).
- López, Tito. (2019). Que ha pasado con la radio digital. Recuperado de Radio notas: <https://radionotas.com/2019/05/17/que-ha-pasado-con-la-radio-digital-parte-ii/>
- Canal YouTube - HR Radio. (2019). How HD Radio Works. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=Uc8T9bwCOAc>
- Canal YouTube – Escuela técnica en Comunicación. (2022). Curso de radio: Hablemos de la radio digital - Radio Digital Terrestre - Radio online – satelital. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=3BbOGfH8F6Y>
- Canal YouTube - Shango066HD. (2016). Digital Radio Sound Quality Demonstration. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=lRX3yAgWvKI&t=336s>
- Canal YouTube - GatesAir. (2016). HD Radio: Tecnología y Mercado | español | GatesAir Connect Webinar. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=JoyXzPqJQp4>
- Canal YouTube – GatesAir. (2020). Digital Radio: A Review of the Latest Standards - HDRadio, DAB, and DRM. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=QI4LAUj13VE>
- Penneroux, Michael. (2003). Inauguración de la radiodifusión digital sonora en la CMR-03. Recuperado de UIT: <https://www.itu.int/itunews/manager/display.asp?lang=es&year=2003&issue=05&ipage=digital-sound&ext=html>

- García, Santiago. (2014). ¿Como funciona la radio digital? Recuperado de: <https://radioslibres.net/72-como-funciona-la-radio-digital/>
- Tesis y Masters. (2024). Como hacer el marco teórico conceptual de tu tesis. Recuperado de: <https://tesisymasters.com.ar/tesis-marco-teorico/>
- REDACCION. (2020). ¿España podría replantearse la implantación de la radio digital DAB? Panorama Audiovisual. Recuperado de: <https://www.panoramaaudiovisual.com/2020/09/03/espana-podria-replantearse-la-implantacion-de-la-radio-digital-dab/>
- Laven, Philip. (2024). De la Radiodifusión analógica a la digital – respuestas a diversas necesidades. Recuperado de UIT: <https://www.itu.int/itu-news/manager/displayException.asp?language=es&year=2004&issue=04&ipage=replanning&ext=html>
- El País. (2018). Exclusivo: Cali se convirtió en la capital de la “radio Pirata”. Recuperado de: <https://www.elpais.com.co/cali/exclusivo-se-convirtio-en-la-capital-de-la-radio-pirata.html>
- El País. (2018). Estas son las 27 emisoras ilegales que fueron cerradas por la Fiscalía y la ANE en el Valle. Recuperado de: <https://www.elpais.com.co/cali/estas-son-las-27-emisoras-ilegales-que-fueron-cerradas-por-la-fisa-y-la-ane-en-el-valle.html>
- Medrano, Rosa. (2022). Más de 130 estaciones de radio están operando ilegalmente en el país. Recuperado de: https://listindiario.com/la-republica/ciudad/20230518/mas-130-estaciones-radio-operando-ilegalmente-pais_754047.html
- Santa, Richard. (2010). MTC intervino radios piratas que interferían radios legales. Recuperado de: <https://www.tvyvideo.com/2021100510574/noticias/empresas/mtc-intervino-radios-piratas-que-interferian-radios-legales.html>