

**IDENTIFICACIÓN DE LA CONVENIENCIA PARA COLOMBIA DE LA
ADOPCIÓN DEL ESTÁNDAR DVB-T2 Y SU ESTADO DE
DESPLIEGUE EN EL TERRITORIO COLOMBIANO**

ANDRÉS FELIPE LESMES AMÉZQUITA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C
2018**

**IDENTIFICACIÓN DE LA CONVENIENCIA PARA COLOMBIA DE LA
ADOPCIÓN DEL ESTÁNDAR DVB-T2 Y SU ESTADO DE
DESPLIEGUE EN EL TERRITORIO COLOMBIANO**

PRESENTADO POR:

ANDRÉS FELIPE LESMES AMÉZQUITA

**Proyecto de grado para optar por el Título de Ingeniero de
Telecomunicaciones**

Dirigido por:

**GUSTAVO ALONZO CHICA PEDRAZA
M.Sc en Ingeniería de Telecomunicaciones**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C
2018**

Nota de Aceptación

Director

Jurado

Jurado

Bogotá D.C. 2019

DEDICATORIA

Este Proyecto de Grado va dedicado a Dios, a mi mama Adriana Amézquita Nieto y a mi abuela Mariela Nieto Díaz. Se lo dedico a Dios porque ha estado siempre conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza necesaria para continuar, a mi mama y a mi abuela porque a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo ellas mi principal apoyo en todo momento, personas que dejaron su completa confianza en cada reto que me imponía sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Gracias a todo lo que ellas hicieron por mí, ahora soy un hombre correcto con ganas de progresar y ser alguien en la vida, las amo mucho.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, deseo expresar mi agradecimiento al director del proyecto de grado, Gustavo Alonso Chica Pedraza, por la constante dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo además de su correcta dirección. Así mismo, agradezco a mis compañeros universitarios por su apoyo personal y humano. Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso mi más sincero agradecimiento al ingeniero Carlos Raúl Gonzales Martínez, por ser un magnifico Profesor y Codirector del proyecto.

A su vez, un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Gracias a mi familia, a mi mama y a mi abuela, porque con ellas compartí una infancia feliz.

Finalmente, Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión. Pero, sobre todo, gracias a mi mejor amigo Javier Andrés Martínez Torres, y a mi novia Erika Montero Silva, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo. A todos, muchas gracias.

CONTENIDO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABLAS.....	12
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO	15
1.1. TÍTULO DEL PROYECTO	15
1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.3.3. Alcance.....	16
2. ANTECEDENTES DE LA TELEVISIÓN	17
2.1 TELEVISIÓN ANALÓGICA	17
2.1.1. Televisión Analógica en Colombia	18
2.2 TELEVISIÓN DIGITAL	19
2.2.1. Características de la TDT	20
2.2.2. Televisión Digital en Colombia.....	21
2.2.3. Clasificación a nivel de servicio de la televisión en Colombia.....	23
2.2.4. Organizaciones del estado colombiano las cuales regulan el servicio de televisión digital terrestre.....	23
2.3 ESTÁNDARES DE LA TELEVISIÓN DIGITAL.....	24
2.3.1. Estándar ISDB-T	24
2.3.2. Estándar DTMB	26
2.3.3. Estándar ATSC.....	27
2.3.4. Estándar DVB-T2.....	29
2.4 CUADRO COMPARATIVO ENTRE ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	30
3. VARIABLES A TENER EN CUENTA PARA SELECCIONAR UN ESTÁNDAR DE TDT.	33
3.1 MÉTODO DELPHI	33

3.1.1. Condiciones que debe cumplir el método Delphi	33
3.1.2. Características del modelo DELPHI	34
3.1.3. Fases del modelo DELPHI	34
3.1.4. Ventajas del modelo DELPHI.....	35
3.1.5. Inconvenientes del modelo DELPHI	36
3.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO DELPHI EN EL PROYECTO	36
3.2.1. Fase I	36
3.2.2. Fase II	36
3.2.3. Fase III	37
3.2.3. Fase IV	38
3.3 METODO BOCR.....	39
3.5 SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA IDENTIFICAR EL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE MAS APROPIADO.....	39
3.5.1. Criterio Técnico:.....	39
3.5.2. Criterio De Infraestructura:	40
3.5.3. Criterio Ambiental:.....	40
3.5.4. Criterio Social:.....	40
3.5.5. Criterio Económico:.....	41
3.5.6. Criterio Regulatorio:.....	41
4. DETERMINACIÓN DE LA CONVENIENCIA PARA COLOMBIA DE LA ADOPCIÓN DEL ESTÁNDAR DVB-T2.....	43
4.1 TOMA DE DECISIONES.	43
4.2 EL ANÁLISIS DE LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO.....	44
4.2.1 Método AHP (Analytic Hierarchy Process)	45
4.2.2 Fundamentos Y ventajas del método AHP:	45
4.2.3 Pasos para usar el PAJ	46
4.3 DETERMINACIÓN DE LA CONVENIENCIA PARA COLOMBIA DE LA SELECCIÓN DEL ESTANDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL DVB-T2.....	48
4.3.1 Determinación del objeto de estudio	48
4.3.2 Selección de los expertos	49
4.3.3 Selección de los criterios de decisión.....	49
4.3.4 Análisis de Dominancia	52
4.3.5 Ponderación de los criterios.....	53
4.3.6 Valoración de las alternativas según cada criterio.....	56
4.3.7 Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas	57
4.3.8 Análisis de resultados	60
5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	61
5.1 MODELO JERÁRQUICO.....	61
5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	63
5.2.1 Sensibilidad a la variación menor del 10%	64
5.2.2 Sensibilidad a la variación mayor del 10%.....	67
5.2.3 Comparación entre las diferentes alternativas.....	68
6. ESTADO DE DESPLIEGUE ACTUAL EN COLOMBIA	72
6.1 EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA EN COLOMBIA	72
6.1.1. Fase I (Planeación del proyecto)	73

6.1.2. Fase II (Construcciones o adecuaciones civiles y fabricación de equipos).....	74
6.1.3. Fase III (Instalación, pruebas y mediciones de aceptación en estación de los sistemas eléctricos de transmisión)	75
6.1.4. Fase IV (Mediciones de campo)	77
6.1.5. Fase V (Garantía y suministro de repuestos)	79
6.1.6. Tiempos estimados del proyecto TDT	79
6.1.7. TRANSICIÓN HACIA LA TDT.....	79
6.2 DESPLIEGUE ACTUAL TDT	81
7. CONCLUSIONES.....	83
8.Bibliografía.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Término
8-VSB	8 Level Vestigial Side Band
ANE	Agencia Nacional del Espectro
ANTV	Agencia Nacional de Televisión
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ASOMEDIOS	Asociación Nacional de Medios de Comunicación
ATSC	Advanced Television Systems Committee
CCNP	Consortio de Canales Nacionales Privados
CEM	Campos electromagnéticos
CNTV	Comisión Nacional de Televisión
CNTV	Comisión Nacional de Televisión
CRC	Comisión de Regulación de Comunicaciones
DMTB	Digital Multimedia Broadcast-Terrestrial/Handheld
DOCR	Digital On-Channel repeaters
DTH	Direct To Home
DTV	Digital TV
DVB-T1	Digital Video Broadcasting – Terrestrial
EU	Unión Europea
HD	High Definition
ICV	Inventory of The Life Cycle
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting
ISDB-Tb	Versión Brasileira del ISDB-T
ISO	International Organization for Standardization
LTE	Long Term Evolution

MER	Tasa de Error de Modulación
MFN	Multiple Frequency Network
MPEG	Moving Picture Experts Group
NTSC	National Television System Committee
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
PAL	Phase Alternating Line
PIB	Producto Interno Bruto
PIRE	Potencia isotrópica Radiada Equivalente
PRA	Radiada Aparente
SD	Standard Definition
SECAM	Séquentiel Couleur à Mémoire
SFN	Single Frequency Network
TDT	Televisión Digital Terrestre
TV	Televisión
UHF	Ultra High Frequency
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VHF	Very High Frequency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Forma de distribuir la televisión analógica [2].....	17
Figura 2. Distribución estándares Analógicos en el mundo [4].....	18
Figura 3. Características de la Televisión Digital [8].....	20
Figura 4. Estándares de televisión Digital terrestre en el mundo [11]	21
Figura 5. Canales y emisoras TDT en Colombia [19].....	22
Figura 6. Organismos reguladores del servicio de televisión en Colombia [21]	24
Figura 7. Diagrama de bloques estándar ISDBT [23].....	25
Figura 8. Diagrama de bloques de un sistema DTMB-A [25]	27
Figura 9. Estructura general del sistema DVB-T2 [32]	29
Figura 10. Fases método Delphi [35]	35
Figura 11. Jerarquía del modelo AHP [47]	46
Figura 12. Árbol de Decisión	61
Figura 13. Niveles y Sub-niveles	62
Figura 14. Resultado Modo distributivo	63
Figura 15. Resultado Modo ideal.....	63
Figura 16. Análisis de sensibilidad Modo Distributivo.....	64
Figura 17. Análisis de sensibilidad Dinámico sin modificar	65
Figura 18. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Técnico	65
Figura 19. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Social.....	65
Figura 20. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Económico.....	66
Figura 21. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Infraestructura.....	66
Figura 22. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Regulatorio	66
Figura 23. Comparación entre DVB-T2 y ISDB-T.....	68
Figura 24. Comparación entre DVB-T2 y ATSC.....	69
Figura 25. Comparación entre DVB-T2 y DTMB	69
Figura 26. Comparación entre ISDB-T y ATSC.....	69
Figura 27. Comparación entre ISDB-T y DTMB	70
Figura 28. Comparación entre ATSC y DTMB.	70
Figura 29. Cobertura TDT fase I [51].....	74
Figura 30. Cobertura TDT fase II [51].....	75
Figura 31. Cobertura TDT fase III [51].....	76
Figura 32. Cobertura TDT fase IV [51]	77
Figura 33. Distribución de los sistemas de recepción TDT entregados por la UE [55]	81
Figura 34. Despliegue Actual TDT en Colombia [58]	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Canales Analógicos [6]	19
Tabla 2. Clasificación del servicio de Televisión en Colombia [20]	23
Tabla 3. Comparación de estándares	31
Tabla 4 . Tabla de preguntas para los expertos [36]	37
Tabla 5. Criterios encontrados con el método BOCR-DELPHI [40].....	42
Tabla 6. Tabla para valoración directa de Saaty [48]	47
Tabla 7. Valores C.I.A dependiendo de k. [49]	48
Tabla 8. Selección de expertos Fuente: Autor.....	49
Tabla 9. Niveles de criterios seleccionados.....	49
Tabla 10. Matriz de Dominancia.....	52
Tabla 11. Matriz de dominancia con índices de dominancia	53
Tabla 12. Ponderación Final de los Criterios Según Niveles.....	53
Tabla 13. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Técnico.....	54
Tabla 14. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Social	54
Tabla 15. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Económico	55
Tabla 16. Ponderación Final de los Criterios del Nivel de Infraestructura	55
Tabla 17. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Regulatorio	55
Tabla 18. Valoración de las Alternativas	56
Tabla 19. Matriz de Decisión.....	57
Tabla 20. Cálculo de la Prioridad (Método Distributivo)	58
Tabla 21. Cálculo de la Prioridad (Método Ideal)	59
Tabla 22. . Análisis de Sensibilidad Modo Distributivo < a 10%	67
Tabla 23. Análisis de Sensibilidad Modo Distributivo > a 10%	67
Tabla 24. Análisis de Sensibilidad Modo Ideal > a 10%	68
Tabla 25. Plan de cobertura TDT en Colombia	72
Tabla 26. Estaciones y proveedores beneficiados por la fase III de TDT [52].....	76
Tabla 27. Estaciones a implementar en la fase IV [50].....	77
Tabla 28. Cronograma de actividades [51].....	79
Tabla 29. Sistemas de recepción TDT entregados por la UE [55].....	80

RESUMEN

El presente trabajo de grado, es un estudio que se enfoca a identificar la conveniencia para Colombia de haber tomado la decisión en el año 2008 de adoptar el estándar DVB-T2 y poder mostrar su estado actual de despliegue en el territorio colombiano. Para el desarrollo correspondiente, se plantean y evalúan con ayuda de expertos, los criterios a tener en cuenta para la selección de un estándar de televisión digital. Lo anterior teniendo en cuenta que Colombia en su mayor parte, se enfocó en criterios netamente técnicos al momento de tomar la decisión de escoger el estándar europeo DVB-T2 como su estándar de televisión digital.

En el desarrollo del proyecto, se recopiló información tomada de la RTVC teniendo en cuenta la opinión de personas especializadas en el tema, esto con el fin de poder introducir dicha información en el programa Expert Choice para determinar la conveniencia para Colombia de dicha elección. Al conocer los resultados del diagnóstico efectuado, es posible identificar por qué la elección realizada por la RTVC en el año 2008 fue lo mejor para Colombia, o si, por el contrario, hubiera sido mejor haber elegido otro estándar de televisión digital.

Finalmente y como uno de los entregables de este trabajo, se identifica el nivel actual de cobertura del estándar DVB-T2 en el territorio nacional, esto teniendo en cuenta que a finales de este año (2019) se espera realizar el llamado apagón analógico en Colombia.

INTRODUCCIÓN

Los países que se encuentran en vía de desarrollo deben intensificar el acceso a los servicios de telecomunicaciones para poder acceder a mejores posibilidades para su población, impulsar la competitividad disminuyendo la llamada brecha digital. En Colombia uno de los principales inconvenientes que se presenta es la deficiencia de cubrimiento de infraestructura de telecomunicaciones.

Como bien se sabe en Colombia, la extinta Comisión Nacional de televisión (CNTV) escogió el estándar de televisión Digital de Europa DVB-T2, el cual se ha venido implementado desde el año 2008, siendo Colombia el único país de Latinoamérica que en su momento escogió este estándar, por lo cual se han suscitado muchas preguntas al respecto de la decisión tomada.

Adicional a lo anterior, el apagón analógico en Colombia estaba planeado para el año 2017, sin embargo, para esa fecha aún no se contaba con toda la infraestructura que permitiera tener un cubrimiento total del país, por lo cual, se hizo necesario extender la fecha hasta finales del 2019 con el compromiso de que, para esa fecha, el despliegue del estándar en el territorio colombiano fuese de alrededor del 100%.

Lo anterior, genera ciertas dudas, sobre todo teniendo en cuenta que se desconoce con exactitud cómo será el procedimiento para realizar el apagón analógico y no hay muchos estudios que aclaren el por qué Colombia escogió un estándar de manera diferenciada con los demás países Latinoamericanos.

1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO

En el siguiente trabajo de grado se realiza un análisis para identificar la conveniencia para Colombia de la adopción del estándar DVB-T2 en el año 2008. Este análisis utiliza el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) el cual provee una las técnicas más robustas al momento de tomar una decisión importante. Este documento se realiza con el fin de presentar el proyecto de grado para optar por el Título de Ingeniero en Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás de Bogotá.

A continuación, se contextualiza el trabajo a realizar.

1.1. TÍTULO DEL PROYECTO

Identificación de la conveniencia para Colombia de la adopción del estándar DVB-T2 y su estado de despliegue en el territorio colombiano

1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Al momento de que América del Sur Decidiera sus normas de televisión no se creó un consenso para la adopción de una norma regional, por lo cual cada país realizó sus estudios por separado, Brasil tomo el inicio y empezó a utilizar el estándar ISDB-T por lo cual muchos otros países latinoamericanos empezaron a utilizarla también. Colombia por el contrario escogió la norma DVB-T siendo el único país latinoamericano con el estándar europeo hasta que Surinam y Guyana Francesa optaron también a este estándar.

Por lo anterior, la importancia de poder determinar la conveniencia para Colombia al elegir este estándar, ayudará a entender desde diferentes puntos de vista las ventajas y desventajas que este tiene frente a los demás estándares de televisión digital terrestre. Adicionalmente y teniendo en cuenta que la implementación del estándar no se dio a tiempo para realizar el apagón analógico en el 2017, se hace necesario y pertinente conocer el estado real de su implementación a la fecha, a sabiendas que a finales del 2019 se debería tener su implementación casi al 100%.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Determinar la conveniencia de la adopción del estándar de televisión digital terrestre DVB-T2 en Colombia y su estado de despliegue actual en el territorio colombiano.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Identificar en la literatura las características principales de los estándares para televisión digital terrestre (TDT), mediante la elaboración de un cuadro comparativo.
2. Identificar los criterios a tener en cuenta para seleccionar un estándar de TDT.
3. Utilizar técnicas matemáticas de toma de decisiones para identificar el estándar de Televisión Digital Terrestre que más favorece a Colombia desde el punto de vista Técnico, Infraestructura, Ambiental, Social, Económico, Político y/o Regulatorio.
4. Determinar la conveniencia para Colombia de la adopción del estándar de televisión digital terrestre DVB-T2.
5. Identificar el estado de avance del plan de cobertura en tecnología digital de las redes de televisión radiodifundidas.

1.3.3. Alcance

Este trabajo pretende dar una mirada general a los estándares de televisión que hay en la actualidad, identificando la conveniencia de haber seleccionado para el caso de Colombia el estándar DVB-T2, así como su nivel de despliegue en el territorio colombiano en la actualidad con miras a identificar si el apagón analógico programado para el 2019 será realizado para esa fecha.

2. ANTECEDENTES DE LA TELEVISIÓN

En el siguiente capítulo, se realiza un acercamiento a la Televisión Digital Terrestre, se hace una breve explicación de lo que es la televisión analógica y una corta reseña de su despliegue en Colombia, después se hace una clasificación del servicio de televisión en Colombia y también se explican las características de la TDT. Para Finalizar, se hace una caracterización de los estándares de televisión digital que estaban vigentes al 2008.

2.1 TELEVISIÓN ANALÓGICA

Para poder dar inicio al tema de los estándares y sus características principales primero se debe definir que es la televisión analógica y la Televisión Digital.

La televisión analógica es un sistema de transmisión de ondas de radio, estas transmisiones son realizadas por pulsos electrónicos, cuenta con una antena para poder detectar la señal y su forma de transmisión es por el aire, dichas señales son lanzadas desde satélites, estos satélites realizan dos funciones, una es la encargada de enviar las señales de un lugar de la tierra a otro, mediante enlaces de microondas, y la segunda función es la distribución de la señal en difusión [1]. Proporciona mayor capacidad para transmitir información ya que no es muy sensible al ruido.

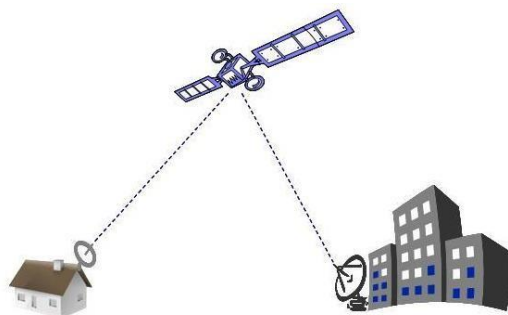


Figura 1. Forma de distribuir la televisión analógica [2]

La televisión analógica evolucionó y se empezaron a realizar transmisiones de señales por cable, donde se asigna una banda de VHF y UHF para realizar la sintonía de los canales que llegan por el aire y de los que llegan por cable. Su principal problema es su poco alcance dada la cobertura terrestre y por la constante presencia del ruido [3].

A su vez, las señales analógicas se expanden y transmiten mediante ondas curvas. Por lo cual se utilizan en su mayoría para hacer transmisiones de audio y video, es decir, la transmisión analógica es la tecnología estándar de televisión en todo el mundo.

La televisión analógica también es transmitida utilizando la modulación de las ondas hertzianas, estas ondas ocupan un gran ancho de banda el cual se le conoce como el ancho del canal.

Los sistemas de difusión de la televisión analógica conocidos actualmente son:

PAL
SECAM
NTSC

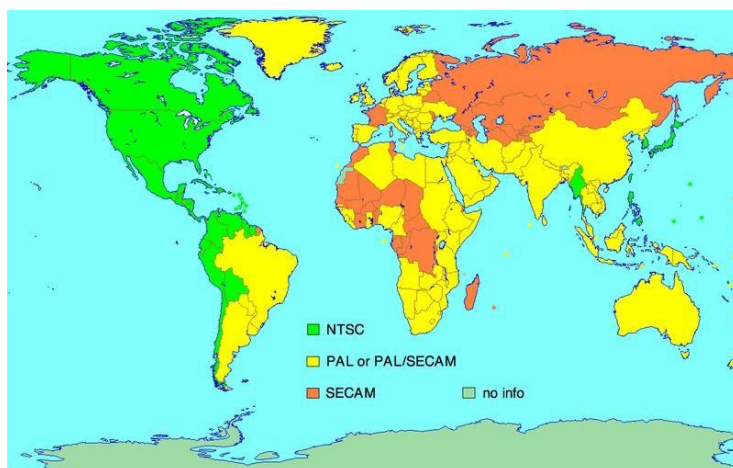


Figura 2. Distribución estándares Analógicos en el mundo [4]

2.1.1. Televisión Analógica en Colombia

Colombia tiene actualmente el estándar NTSC para televisión analógica patentado por América del Norte, este estándar se introdujo a Colombia en 1978, el 22 de diciembre de dicho año se expidieron las normas que regularon la implementación del sistema NTSC en Colombia y el 1 de diciembre de 1979 se iniciaron las transmisiones a color [5].

La televisión fue fundada en Colombia el 13 de junio de 1954 en el gobierno de Gustavo Rojas Pinilla, en sus principios la televisión en Colombia fue publica y su énfasis era la educación y la cultura, luego se crearon las programadoras para que empresas privadas se encargaran de la programación. La televisión a color llego a Colombia en 1979.

Tabla 1. Canales Analógicos [6]

Número del canal	Operador	Número de estaciones
1	RTVC	197
2	CCNP	148
3	Canal Capital	2
4	Telecaribe	6
5	Teleantioquía	92
6	TRO	8
7	Telepacífico	16
8	Telecafé	18
9	Teveandina	18
10	Teleislas	2
11	City TV	1
12	Locales sin ánimo de lucro	1-3

2.2 TELEVISIÓN DIGITAL

TDT es el acrónimo de Televisión Digital Terrestre, una aplicación de tecnología digital que se le realiza a una señal de televisión con el fin de ser transmitidas sin necesidad de un cable o satélite, ofreciendo un servicio con una alta disponibilidad de canales, con mayor calidad de imagen y sonido.

Actualmente, la TDT se ha expandido a casi todo el mundo. Con la ayuda de su exponencial desarrollo en técnicas de procesamiento digital de señales, las cuales permiten a los investigadores de las telecomunicaciones, crear o disponer de nuevos servicios para poder aumentar las prestaciones que se generan en los sistemas de TDT. Muchos países, particularmente en Europa, ya comenzaron con la transición de la televisión analógica a la televisión digital en especial a la segunda generación de estándares de TDT. Esta tendencia de cambio, fue en su mayoría, para poder adoptar la versión número dos de los estándares TDT.

La televisión Digital, en esencia es una tecnología donde la señal es principalmente transmitida por el aire la cual permite que las estaciones de televisión envíen imágenes y sonido con mayor calidad; sus características principales se pueden evidenciar en el siguiente cuadro [7].

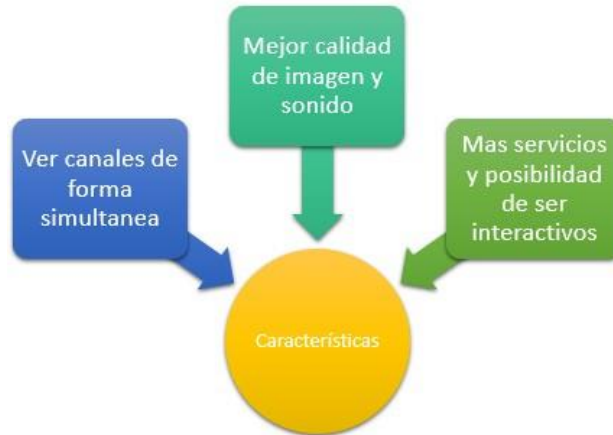


Figura 3. Características de la Televisión Digital [8]

2.2.1. Características de la TDT

Actualmente, existen varias tecnologías por las cuales se puede acceder a los servicios de la televisión digital, entre las tecnologías más representativas encontramos las ondas terrestres (TDT), televisión por satélite, televisión por tecnologías IP o ADSL, Televisión por cable y dispositivos móviles.

La televisión analógica está centralizada en los sistemas VHF y UHF, mientras que la televisión digital está centralizada en el sistema DVB. A su vez, en la televisión analógica la imagen y el sonido son representados por la magnitud de las señales eléctricas mientras que en la televisión digital están digitalizadas las señales y los voltajes están representados por ceros y unos [9].

En todo el mundo se emplean 4 sistemas diferentes de transmisión digital terrestre los cuales compiten entre sí, se encuentra el sistema ISDB-T (Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting) patentado en Japón en el año 2000 y posteriormente modificado para convertirse en el estándar SBTVD-T (Sistema Brasileiro de Televisión Digital Terrestre), convirtiéndose así en el actual sistema de televisión digital terrestre del Brasil de manera comercial en el año 2007 y utilizado en gran parte de latinoamérica, también se encuentra el DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Terrestrial 2) el cual se utiliza en Europa y algunas partes de latinoamérica, el ATSC (Advanced Television Systems Committee) empleado en Estados Unidos desde el año 1996 y para finalizar el DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast) patentado en china en el año 2002 [10].

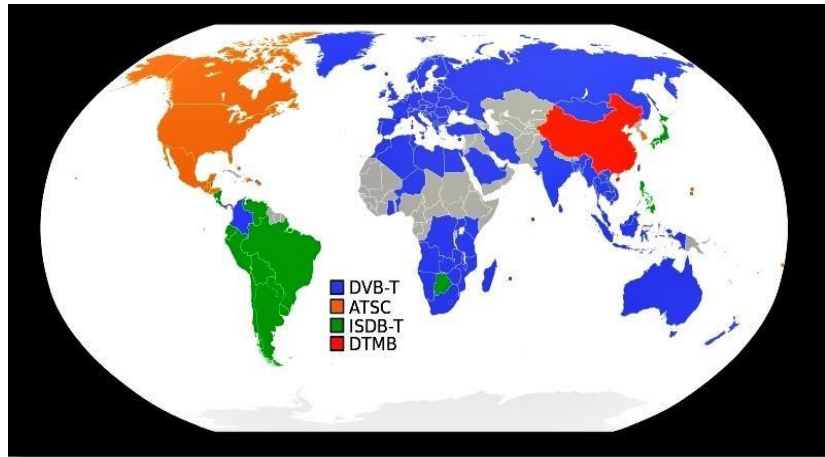


Figura 4. Estándares de televisión Digital terrestre en el mundo [11]

2.2.2. Televisión Digital en Colombia

El concepto de Televisión Digital en Colombia empezaría a reemplazar a la Televisión Analógica desde el 28 de agosto de 2008, al decidir que utilizaría el estándar europeo DBVT-2. Al iniciar el proceso Colombia tenía la tecnología DVB-T1 (Divital Video Broadcasting – Territorial), la cual utilizaba una modulación COFDM para poder ofrecer una señal de buena calidad que disponía de una protección anti ecos con el fin de reutilizar las frecuencias de antenas vecinas, que trabajaba en canales de 6,7 y 8 MHz [12], además de brindar una fácil adaptación, cierta inmunidad a las interferencias al utilizar la modulación OFDM (modulación ortogonal por división de frecuencias).

El estandar DVB-T en el año 2008 solo contaba con instalaciones digitales en Bogotá y Medellín los cuales no poseían mucha capacidad, pero a partir del 2011 con su actualización al DVB-T2 se logró un 97% más de capacidad, este estandar es el más utilizado a nivel mundial, su funcionalidad principal es mejorar los servicios ofrecidos y su cobertura [13].

En los siguientes años se abrieron centros de instalación en otros puntos del país por lo cual se consideraba que para 2019 la transmisión de señal analógica empezara a bajar para poder sintonizar la señal digital abierta gratuita por medio de la TDT [14].

A lo largo de los años se han presentado diferentes metodologías para planificar la TDT en Colombia, aunque no se ha definido una en específico se han implementado algunas para poder ser usadas como una herramienta que servirá de guía a los operadores de televisión con el fin de que las empresas del país la puedan usar

para el diseño y el despliegue de redes minimizando la interferencia; la importancia de una metodología es mejorar la gestión del espectro electromagnético [15], [16].

Cuando se habla de poder ofrecer metodologías y aplicaciones piloto para evidenciar un mejor resultado, se deben tener en cuenta todos los posibles aspectos que pueden llegar a tener complicaciones en el desarrollo de la aplicación o en su estudio, como por ejemplo las desventajas y ventajas en termino ambiental que puede producir la TDT en Bogotá, por lo cual se diseñó una investigación donde se establecieron procedimientos con el fin de mitigar el impacto ambiental del cambio de televisión análoga a TDT ya que este cambio en Colombia tardo varios años [17]. Como se habló anteriormente se deben tener todos los ámbitos controlados y otro de ellos es la televisión infantil o de carácter educativo con el cual se puede realizar una proyección de que tan efectivo puede llegar a ser ese tipo de televisión en el país, con el fin de expandirse y que se puedan incluir estrategias comunicativas en diferentes medios [18].



Figura 5. Canales y emisoras TDT en Colombia [19]

2.2.3. Clasificación a nivel de servicio de la televisión en Colombia

En el año 1995 se creó la CNTV con la ley 182, donde los servicios de televisión en Colombia fueron reglamentados. Se estableció la clasificación del servicio de televisión, el cual fue modificado parcialmente por los Artículos 4 y 24 de la Ley 335 de 1996 y se pueden detallar en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del servicio de Televisión en Colombia [20]

Criterios	Clasificación
Tecnología de transmisión	Radiodifundida
	Cableada
	Satelital
Usuarios del Servicio	Abierta
	Cerrada
Orientación de la programación	Comercial
	Interés de carácter Público, cultural y educativo
Nivel de Cubrimiento	Según su país de origen y el país de destino: -Internacional -Colombiana
	Nivel de Cubrimiento territorial: -Nacional de operación privada -Nacional de operación pública -Regional -Local -Comunitaria sin ánimo de lucro

2.2.4. Organizaciones del estado colombiano las cuales regulan el servicio de televisión digital terrestre

En Colombia podemos encontrar diversas entidades públicas las cuales tienen como función definir políticas que regulen el servicio de televisión digital terrestre, entre las más conocidas encontramos la CRC y la ANTV. También encontramos a la ANE y la SIC; estas entidades son las encargadas de dirigir, desarrollar, las políticas de la televisión en Colombia, a continuación, se explicará de una forma más detallada cada una de ellas:

La Agencia Nacional del Espectro (ANE): Esta entidad pública está encargada de asignar las bandas de frecuencia del espectro

electromagnético, es decir, tiene que controlar y vigilar las concesiones realizadas.

La Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC): La entidad encargada de sancionar a toda persona que realicen alguna actividad contra la competencia y los derechos del televidente.

La Superintendencia de Industria y Comercio (SIC): Es la entidad pública encargada de controlar y dar vigilancia a los derechos del usuario, a su vez, es el encargado de conceder las integraciones, fusiones y concentraciones de compañías prestadoras del servicio de televisión.

La Autoridad Nacional de Televisión (ANTV): Es la entidad pública encargada de asignar las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico con ayuda de la ANE.



Figura 6. Organismos reguladores del servicio de televisión en Colombia [21]

2.3 ESTÁNDARES DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

2.3.1. Estándar ISDB-T

El estándar ISDB-T fue implementado en el año 1997 y define conexiones de datos con internet sobre varios medios y maneja diferentes protocolos las cuales son muy utilizadas para la transmisión de datos, entre sus características principales se encuentra que puede emitir a formato HD y SD, maneja una multimedia para la interactividad, opera servicios móviles, de telefonía fija y posee redes de frecuencia única [22].

ISDB-T Utiliza una modulación basada en MPEG-2 para audio y video, también puede transmitir algunos datos en formato MPEG-4 y utiliza una modulación OFDM con unos nodos de 2k y 8k, para sus subportadoras utiliza una modulación PSK/QAM la cual tiene un diagrama de bloques como lo describe la figura 7.

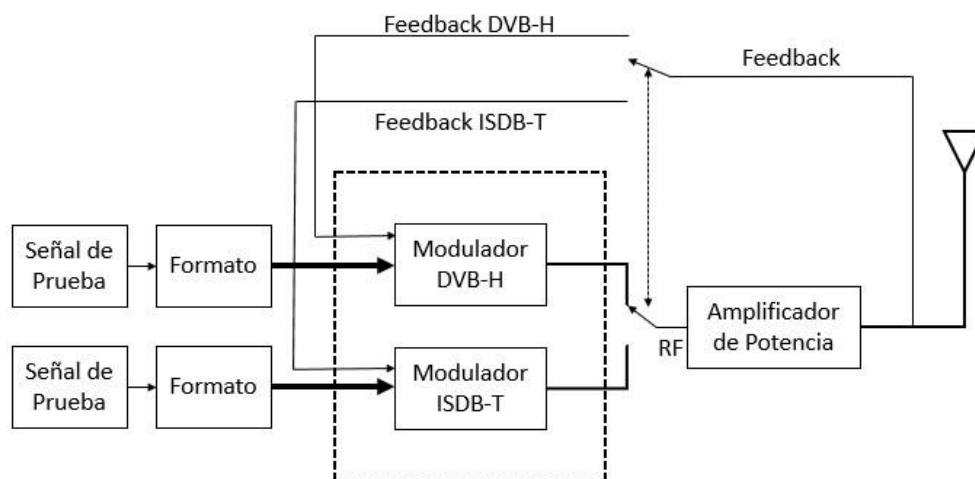


Figura 7. Diagrama de bloques estándar ISDBT [23].

En ISDB-T, algunos flujos de transporte se pueden remultiplexar con el fin de poder generar un flujo único de transporte. El cual se somete a múltiples procesos de codificación de canal, teniendo en cuenta los niveles del servicio, para finalmente poder ser transmitido como una señal OFDM. En ISDB-T también se puede realizar entrelazado en tiempo, con el objetivo de presentar una codificación de canal mucho más potente en la recepción móvil, en donde se deben tener en cuenta las variaciones en el nivel de la señal recibida ya que son inevitables.

Características:

Este estándar divide la banda de frecuencias en 13 segmentos. Por lo cual el radiodifusor puede seleccionar la perfecta combinación de un segmento con la finalidad de disponer flexibilidad en el servicio.

Es un estándar muy robusto, ya que dispone con MPEG-4 y aguanta múltiples reflexiones.

Debido a las bandas de frecuencia utilizadas por este estándar hay aspectos que suelen diferir, la banda ISBT-S a 12 GHz utiliza una modulación PSK, en 2.6 GHz utiliza CDM Y en bandas UHF y VHF utiliza COFDM y PSK/QAM.

Se puede realizar la transmisión jerárquica, es decir, la transmisión simultánea de una señal con múltiples parámetros. Los 13 segmentos se pueden agrupar en 3 capas de transmisión con la utilización del mismo esquema de codificación de detección de errores. Puede suministrar servicios de radiodifusión el cual es capaz de soportar BML.

Se puede conectar a internet por medio de la radiodifusión y la conectividad a internet, este estándar puede ofrecer varios programas interactivos. Este estándar ha implementado SFN desde el 2003, donde los radiodifusores pueden suministrar un servicio con la utilización de una banda de frecuencias.

Cuenta con “One Seg” el cual es un servicio de transmisión de video/audio, se diseñó para que un canal se divida en 13 segmentos y cuenta con otro para separar los canales, la transmisión HDTV en el canal ocupará 12 segmentos y el siguiente segmento que es el número 13 es utilizado para la recepción de móviles.

2.3.2. Estándar DTMB

Después del estándar japonés se encuentra el estándar de China (con Hong Kong y Macao) el cual escogió DMB-T/H (Digital Multimedia Broadcasting-Terrestrial/Handheld) como el estándar de televisión para su país. El cual ahora se le conoce como DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast).

El estándar DTMB se diseñó en el año 1996 pero fue aprobado en el año 2007 y es el estándar más diferente de todos, tanto en su sistema de modulación como codificación de canal; a su vez es la unión de dos anteriores estándares desarrollados antes en china, el estándar ADTB-T, muy parecido al ATSC el cual fue desarrollado en la Universidad de Jiaotong de Shanghai y el DMB-T desarrollado en la Universidad Tsinghua de Beijing. En la figura 8 se puede evidenciar el diagrama de bloques del sistema DTMB-A [24].

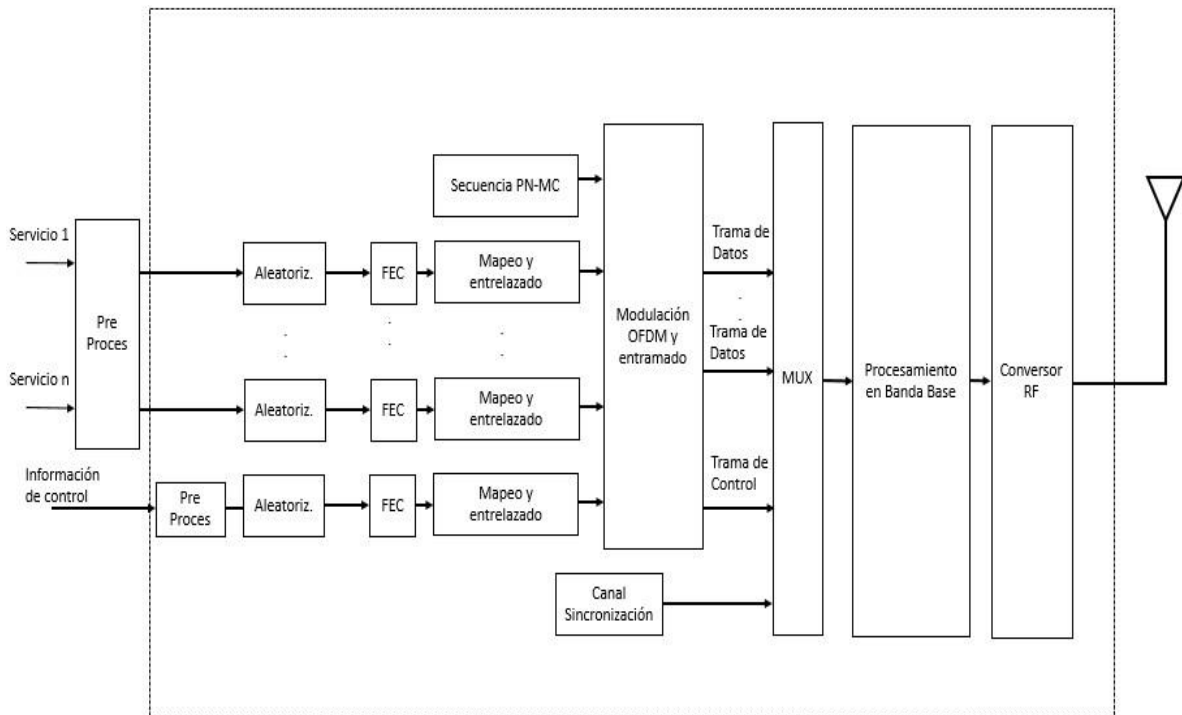


Figura 8. Diagrama de bloques de un sistema DTMB-A [25]

Diseñado para la recepción de telefonía fija por lo cual es capaz de difundir programas en alta definición combinado con algún canal SD y otro para contenido multimedia, compatible con la recepción (cubierta y al aire libre).

Utiliza un código pseudo-aleatorio de ruido para poder realizar una sincronización más rápida; utiliza una codificación LDPC para su seguridad ante posibles errores; Una modulación TDS-OFDM para poder combinar la radiodifusión en SD, HD y servicios multimedia: [26].

Tiene gran alcance de cobertura, puede transmitir en HD y permite la transmisión de varios canales en una misma frecuencia.

2.3.3. Estándar ATSC

El tercer estándar de televisión Digital Terrestre es el de EE. UU. El cual ha implantado el sistema estandarizado por la ATSC, el cual utiliza una modulación 8-VSB (8 Level Vestigial Side Band) la cual ayuda para realizar transmisiones terrestres [27].

El estándar ATSC fue diseñado por la industria privada bajo el liderazgo de la comisión federal de comunicaciones de los Estados Unidos con el fin de transmitir video y audio en alta definición en un canal de 6 MHz posee dos modelos de operación el 8-VSB y el 16-VSB el cual maneja la cantidad de datos para distribución por cable, para video utiliza el formato de descompresión MPEG y su flujo de bits será constituido por paquetes multiplexados, aunque está establecido para 6 MHz también puede emplear canales de 7 y 8 MHz ajustándole la capacidad de datos. [28].

Diseño un sistema para acceder a la asignación de transmisores digitales adicionales para cada transmisor NTSC. El sistema ATSC es eficiente y puede operar bajo condiciones adversas, como por ejemplo resistir a varios tipos de interferencia. [29].

Este estándar no solo es utilizado en los Estados Unidos, también se eligió en algunos países de Norte América, como México, en algunos países de Centroamérica, como El Salvador; y en algunos países de Asia, como Corea del Sur.

Es una organización internacional sin ánimo de lucro la cual planeo crear y fomentar el uso de los estándares, cuenta con televisión de alta definición y televisión estándar, la cual es definida como una pantalla "Wide Screen" de 16:9 e imágenes de 1920x1080 pixeles de resolución.

Según cada operador permite multiplexar varias señales HD y SD, utiliza AC3 para la codificación de audio. Utiliza Dolby como su estándar de sonido de alta calidad, utiliza redes que no reduzcan la carga útil para las señales y servicios de recepción fija.

Fue desarrollado para lograr la máxima cobertura, según la norma A/111 existen formas de reforzar o ampliar las coberturas entre las cuales encontramos:

Transmisores distribuidos, el cual maneja retardos utilizando redes de frecuencia única, esto con el fin de que las señales recibidas puedan ser procesadas ya que son detectadas como multi-trayectos.

DOCR, es una forma de poder reforzar una zona sin tener que sincronizar un transmisor.

2.3.4. Estándar DVB-T2

El ultimo estándar sería el de Europa, el cual fue un proyecto implementado por la EBU (European Broadcasting Union), el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) y el CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). Para la transmisión terrestre el cual fue nombrado como el estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial).

El DVB implementó la primera generación de estándares de televisión digital. Fue desarrollado en el año 2003, este estándar permite una transmisión de televisión de alta definición. Además, puede difundir programas de radio. Fue diseñado para operar dentro de la banda UHF. Aunque el sistema se desarrolló para canales de 8 MHz, se pueden utilizar canales de 6 y 7 MHz con sus correspondientes capacidades de datos [30].

El sistema en general es robusto a posibles interferencias de señales con retrasos, también contra ecos resultantes de alguna reflexión causada por el terreno. Se puede evidenciar su diagrama de bloques en la figura 9 donde se muestran cuatro bloques: el bloque de procesamiento de entrada; el bloque de entrelazado de bit, codificación y modulación; el bloque de constructor de trama; y el bloque de generación de la señal OFDM [31]:

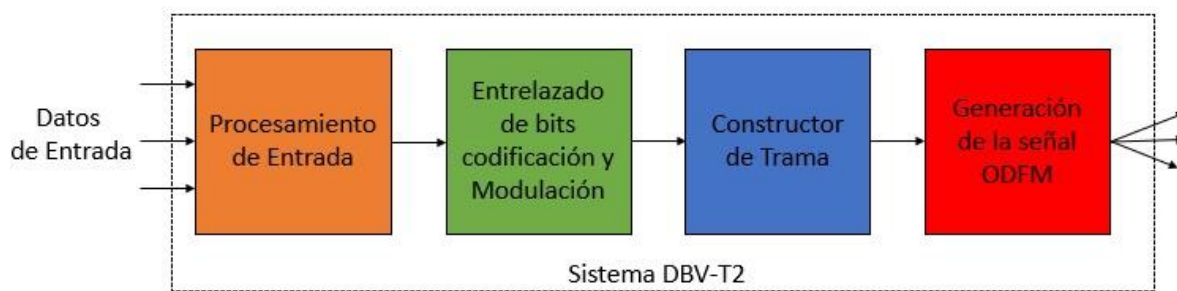


Figura 9. Estructura general del sistema DVB-T2 [32]

Tipos de DVB:

DVB-S Estándar sistemas digitales vía satélite.

DVB-C Estándar sistemas digitales vía cable.

DVB-T Estándar sistemas digitales vía Terrestre.

Fue desarrollado con el fin de optimizar el funcionamiento en cualquier tipo de entorno, los cuales son la transmisión de un canal libre o adyacente, transmisión en grandes y pequeñas redes SFN, tiene un bit Rate disponible y depende del esquema de modulación.

Tiene un esquema de compresión MPEG-2, el cual muestrea a 4:2:0, posee 8 bits de resolución, cuenta con una calidad hasta de 9 Mbps

Se centró en desarrollar aplicaciones para la televisión SD, aunque también opera en HD

Tanto el estándar DBV-T como el DVB-T2 se pueden implementar a la vez, muchos países los han implementado incluyendo Colombia, España y Francia.

2.4 CUADRO COMPARATIVO ENTRE ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL

Una vez se han explicado los estándares de Televisión Digital con los que se contaba en el año 2008 se procede a la creación de un cuadro comparativo donde se puede agrupar la información más relevante de cada estándar. Esto se observa en la tabla 3 [33]:

Tabla 3. Comparación de estándares Fuente: Autor

Estándar	DVB-T	DVB-T2	ATSC	ISDB-T	DTMB
País de origen	Comunidad Europea Foro DVB	Comunidad Europea Foro DVB	Estados Unidos de América	Japón	China
Nombre	Digital Video Broadcasting Terrestrial	Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation	Advanced Television Systems Committee	Integrated Services Digital Broadcasting, Terrestrial	Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcasting
Año de origen	1997	2008	1996	2000	2002
Principales países	África: 8 Asia: 7 Australia y Oceanía: 5 Europa: 20 América del Norte:11 América del Sur:2	África: 35 Asia: 27 Australia y Oceanía: 3 Europa: 27 América del Norte:11 América del Sur:5	Estados Unidos de América, Puerto Rico , Canadá, México, Corea del Sur y República Dominicana	África: 1 Asia: 4 America del Sur: 10	África: 1 Asia: 3 América del Norte: 1
Modulación	QPSK 16QAM 64QAM	QPSK 16QAM 64QAM 256QAM	8-VSB, 16-VSB	64QAM-OFDM, 16QAM-OFDM QPSK-OFDM DPSK-OFDM	TDS-OFDM, 8-SVB
Ancho del canal (MHz)	6,7,8	1.7, 5, 6, 7, 8, 10	6,7,8	6,7,8	6,7,8

Codificación de video	MPEG-2	MPEG-4	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2 MPEG-4
Codificación de audio	MPEG-2	MPEG-4	Dolby AC3	MPEG-2 ACC	MPEG-2, AVS (audio video estándar)
Principales servicios	SD, HD	SD, HD	SD, HD	SD, HD	SD, HD
Algoritmos FEC	RS + Códigos Convolucionales 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	RS (207, 187, 10)	RS + Códigos Convolucionales	LDPC, BCH 1/2, 2/3, 5/6
Razón de datos (Mbps)	4.98-31.67	7.44-50.32	19.39	3.65-30.98	4.81- 21.96
Intervalo de guarda	1/4 , 1/8, 1/16, 1/32	1/4 , 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128	-	1/4, 1/8, 1/16	-
Tamaño FFT	2K, 8K	1K, 2K, 4K, 8K-8KE, 16K16KE, 32K32KE	1	2K, 4K, 8K	4K, 8K, 32K
Movilidad	Si	Si	No Implementada	Si	Si

3. VARIABLES A TENER EN CUENTA PARA SELECCIONAR UN ESTÁNDAR DE TDT.

Con la ayuda de este capítulo, se busca identificar las variables y/o criterios necesarios para poder determinar el mejor estándar posible para Colombia, gracias a la implementación de un método el cual será la base de la investigación para poder desarrollar los objetivos del proyecto, brindando posibles soluciones para cada criterio.

3.1 MÉTODO DELPHI

El método Delphi permite hallar por consenso diferentes tipos de atributos o criterios gracias a la interacción con expertos. Es decir, después de intercambiar diferentes pensamientos se puede llegar a una idea más concreta, ya que cada experto puede abonar información valiosa en la investigación. Su primera prueba o estudio fue realizado en 1950 por Rand Corporation, el cual se utilizó para la fuerza aérea de los Estados Unidos, la función principal del estudio era la aplicación por medio de la opinión de expertos para la selección de un sistema industrial norteamericano óptimo, con el fin de poder estimar el número de bombas requeridas para reducir la producción de municiones.

Linstone y Turoff en 1975 definen en su libro “The Delphi Method: Techniques and Applications” al modelo Delphi de la siguiente manera *“Es un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo”* [34].

3.1.1. Condiciones que debe cumplir el método Delphi

Un impacto externo tendrá mayor influencia o impacto que un impacto interno.

Los datos históricos no existen.

Dentro del proceso evolutivo una consideración ética y/o moral tiene mayores pesos que las económicas y/o tecnológicas.

El problema debe ser siempre para una técnica analítica.

Para poder asegurar la confiabilidad de los resultados se debe mantener una heterogeneidad.

Cuando el tema requiere de la ayuda de los expertos en distintas áreas del conocimiento.

3.1.2. Características del modelo DELPHI

Anonimato: Los expertos tendrán una identidad de anonimato, ya que ningún experto debe saber la identidad del otro.

Iteración y realimentación controlada: En ocasiones se suele presentar varias veces el mismo cuestionario, esto con el fin de poder disminuir el espacio intercuartil.

Respuesta del grupo en forma estadística: Se muestran todas las opiniones de los expertos donde se indica el grado de acuerdo con los otros expertos.

Heterogeneidad: Pueden participar expertos de determinadas ramas teniendo en cuenta las mismas bases.

3.1.3. Fases del modelo DELPHI

Fase 1 (Definición de objetivos): Para comenzar se realiza la formulación del problema y se plantea un objetivo general el cual tendrá que ver con el motivo del estudio.

Fase 2 (selección de expertos): Esta fase se divide en dos procesos:

1.a Dimensión cualitativa: dependen del objetivo y debe atender a los criterios de experiencia posición responsabilidad acceso a la información y disponibilidad.

1.b Dimensión Cuantitativa: se define el tamaño donde se realizará la muestra en función de los recursos medios y tiempo disponible.

2. Formación del panel. Es donde se inicia la captación que conducirá a la configuración de un panel estable. Se le debe informar a los expertos los siguientes temas:

- Objetivos del estudio.
- Criterios de selección.
- Calendario y tiempo máximo de duración.
- Resultados esperados y usos potenciales.
- Recompensa prevista (monetaria, informe final, otros).

Fase 3 (Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios): Deben ser diseñados para facilitar las respuestas de los encuestados. Las respuestas serán cuantificadas y ponderadas.

Fase 4 (Explotación de resultados): La finalidad de los cuestionarios es poder disminuir la dispersión y precisar la opinión. Después del segundo cuestionario, se les informará a los expertos los resultados de la primera consulta, dependiendo de las respuestas, si fuera necesario se realizaría un tercer cuestionario.

La Figura 10, resume las fases del método Delphi:



Figura 10. Fases método Delphi [35]

3.1.4. Ventajas del modelo DELPHI

Se puede obtener información de temas muy extensos.

Puede variar el horizonte de análisis.

Muchas personas en este caso expertos, pueden participar sin generar algún desorden.

Se puede explorar de una forma objetiva y sistemática los problemas que requieren la opinión cualificada.

Reduce los efectos negativos al juntar muchas personas en un lugar para la realización de un debate.

3.1.5. Inconvenientes del modelo DELPHI

Tiene un costo de implementación elevado.

Periodos muy largos de ejecución

Necesidad de muchos expertos para que los resultados tengan significancia estadística.

Problemas en la elección correcta de los participantes.

Elevado número de deserciones debido al tiempo.

3.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO DELPHI EN EL PROYECTO

3.2.1. Fase I

De acuerdo con las pruebas de televisión digital en Colombia realizadas en el 2008, el estándar DVB-T2 fue y es el mejor estándar posible de televisión. Las pruebas fueron realizadas por la CNTV, dichas pruebas evalúan en su mayoría criterios de infraestructura y caracteres técnicos, sin embargo, existen otros criterios al momento de evaluar un estándar, para cada criterio se tendrán en cuenta otros sub-criterios y con eso determinar el mejor estándar para cada criterio.

Con lo anterior, se puede concluir que el objeto de estudio del proyecto es determinar la conveniencia para Colombia de la adopción del estándar DVB-T2

3.2.2. Fase II

En el proceso de selección de expertos, se tuvieron en cuenta todos los criterios a evaluar. Entre los candidatos se puede resaltar trabajadores con bastos conocimientos en el área de televisión y del sector regulatorio. A continuación, se mostrarán los perfiles establecidos para este proyecto:

Abogada de la Universidad Nacional de Colombia, especializada en Derecho Privado Económico y Derecho Administrativo, cuenta con 10 años de experiencia en contratación pública, investigación y docencia.

Ingeniero Electrónico, Especializado en gerencia de proyectos de ingeniería de telecomunicaciones, en gerencia técnica de proyectos de ingeniería electrónica y master en ingeniería de software y sistemas informáticos, cuenta con más de 20 años de experiencia.

Ingeniero de Telecomunicaciones de la universidad Santo Tomas, realizando Maestría en telecomunicaciones y regulación TIC

3.2.3. Fase III

Se tuvo en cuenta un modelo de cuestionario para que responda cada experto teniendo en cuenta las preguntas de la siguiente tabla:

Tabla 4 . Tabla de preguntas para los expertos [36]

pregunta	Valoración del 1 al 9
1. Entre el criterio Tecnológico y el criterio de Infraestructura cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
2. Entre el criterio Tecnológico y el criterio Ambiental cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
3. Entre el criterio Tecnológico y el criterio Social cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
4. Entre el criterio Tecnológico y el criterio Económico cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
5. Entre el criterio Tecnológico y el criterio Regulatorio cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
6. Entre el criterio de Infraestructura y el criterio Ambiental cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
7. Entre el criterio de Infraestructura y el criterio Social cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)

8. Entre el criterio de Infraestructura y el criterio Económico cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
9. Entre el criterio de Infraestructura y el criterio Regulatorio cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
10. Entre el criterio Ambiental y el Social cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
11. Entre el criterio Ambiental y el Económico cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
12. Entre el criterio Ambiental y el Regulatorio cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
13. Entre el criterio Social y el Económico cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
14. Entre el criterio Social y el Regulatorio cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)
15. Entre el criterio Económico y el Regulatorio cual considera más importante?	Valoración entre el 1 y el 9 (donde 9 es el mejor y 1 es el peor)

Con esta información se pueden obtener los pesos de cada uno de los criterios de primer nivel.

3.2.3. Fase IV

Para poder seleccionar los criterios y variables que serán necesarios al realizar la propuesta del mejor estándar de televisión digital en Colombia, se realizó una revisión de los diferentes aspectos que fueron presentados en el Capítulo 2 y con la ayuda de los expertos se logró aplicar una metodología para la selección de criterios en procesos que involucran la toma de decisiones multicriterio, a su vez este proyecto se apoya en la metodología BOCR, con el cual se puede establecer los beneficios, las posibles oportunidades, y sus posibles riesgos en el momento de la toma de decisión del objeto de estudio.

3.3 METODO BOCR

El método BOCR o conocido por sus siglas en inglés “Benefit, Opportunity, Cost and Risk”, trata de dar una solución a cualquier problema que se presenten al momento de tomar decisiones, busca dar un cumplimiento a un determinado objetivo con la mejor estructuración del proceso para obtener los atributos y alternativas. Inicia determinando cuáles serán los objetivos a cumplir y dependiendo de ellos se identifican los atributos y las alternativas

3.5 SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA IDENTIFICAR EL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE MAS APROPIADO.

Con la ayuda de este capítulo, se busca seleccionar las alternativas más viables poder identificar el mejor estándar para Colombia, también busca explicar los criterios a tener en cuenta para la selección de un estándar de televisión digital.

Este proyecto se enfocó en 6 criterios, los cuales se presentan a continuación:

3.5.1. Criterio Técnico:

En este nivel se encuentran los aspectos técnicos necesarios para poder identificar las necesidades de un País. Este criterio se puede dividir en los siguientes sub-criterios [37].

- a. **Sistema de Modulación:** Cada estándar posee un modulador excitador diferente, el cual en el proceso de amplificación entregará una señal con las consideraciones básicas de su estándar.
- b. **Banda Base:** Al utilizar MPEG 2, se emplea un codificador de velocidad variable, esto con el fin de configurar una señal en Transport String.
- c. **Equipos:** Sistemas necesarios para la correcta operatividad del estándar de televisión.
- d. Evaluación de todos los estándares y sus funciones. Interoperabilidad entre Alta Definición (HD) y Definición Estándar (SD), teniendo en cuenta diferentes lugares.

- e. Evaluación de la forma más eficaz al momento de utilizar el espectro radioeléctrico.

3.5.2. Criterio De Infraestructura:

En este nivel se encuentran los aspectos a niveles de infraestructura necesarios para poder identificar las mejores condiciones de instalación. Este criterio se puede dividir en los siguientes sub-criterios [38]:

- a. **Climatología:** Cada país tiene diversidad de clima dependiendo de la zona donde se encuentre.
- b. **Ubicación de las estaciones (Cobertura):** Busca ofrecer el cubrimiento más óptimo sobre el área, para permitir llevar más a fondo el análisis de cobertura.
- c. **Accesibilidad a la estación:** Dada la ubicación de la estación, establecer la facilidad o accesibilidad a la misma.
- d. **Espacio disponible en la estación:** El estándar pide nuevas antenas o se puede con las ya instaladas.
- e. **Espacio disponible en la torre:** Los equipos de los estándares no son del mismo tamaño y es importante ver la disponibilidad en la torre

3.5.3. Criterio Ambiental:

En este nivel se encuentran los aspectos ambientales necesarios para poder identificar los posibles tratamientos para garantizar una mejor calidad ambiental. Este criterio se puede dividir en los siguientes sub-criterios [39].

- a. **Impacto ambiental:** Impacto ambiental generado por el uso de equipos de otros países.
- b. **Ciclo de Vida – ICV:** “Posibles impactos ambientales en un sistema a través de su ciclo de vida”.

3.5.4. Criterio Social:

En este nivel se encuentran los aspectos Sociales que se deben tener en cuenta en un país al momento de implementar una nueva tecnología:

- a. **Impacto Social:** Diferencia entre gastos de implementación y la cobertura de la señal en el país.
- b. **Conocimiento:** La sociedad tiende a aceptar algunas cosas mas que a otras dependiendo de su lugar de origen (nacionalidad).

3.5.5. Criterio Económico:

En este nivel se encuentran los aspectos Económicos inmersos en la decisión de la elección de una nueva tecnología en el país. Los sub-criterios considerados permitirán establecer de manera clara la inversión a realizar:

- a. **Beneficio consumidor:** La disposición de una mayor cantidad de productos para sus clientes a un menor costo.
- b. **Beneficio para los productores:** Costos en los Equipos de Transmisión; es decir; lo que la empresa necesita pagar para la implementación de la tecnología de banda ancha .
- c. **Coexistencia de HD y SD:** Las entidades que transmitirían los canales tendrán la opción de transmitir de manera simultánea un canal de HD o varios canales de SD.

3.5.6. Criterio Regulatorio:

En este nivel se encuentran los aspectos Políticos y/o regulatorios que se tienen en cuenta en un país para la elección de una nueva tecnología.

- a. **Geopolítica:** Método de estudio de políticas exteriores para estudiar, explicar y realizar una actividad en el país de origen.
- b. **Poder político:** El aprovechamiento de las nuevas tecnologías, dependen de la capacidad y las iniciativas del Estado.
- c. **Autonomía Nacional:** condiciones establecidas por los creadores del estándar para su implementación.
- d. **Adaptación:** complejidad de los estándares a adaptarse a los canales ofrecidos por Colombia.

Tabla 5. Criterios encontrados con el método BOCR-DELPHI [40]

NIVEL	CRITÉRIO
TÉCNICO	Sistema de modulación
	Banda base
	Sistemas necesarios
	Funciones, interoperabilidad dependiendo de la zona
	Eficiencia de espectro
INFRAESTRUCTURA	Climatología
	Ubicación de las estaciones (Cobertura):
	Accesibilidad a la estación
	Espacio disponible en la estación
	Espacio disponible en la torre
AMBIENTAL	Impacto ambiental
	Ciclo de Vida – ICV
SOCIAL	Impacto Social
	Conocimiento
ECONÓMICO	Beneficio consumidor
	Beneficio para los productores
	Coexistencia de HD y SD
REGULATORIO	Geopolítica
	Poder político
	Autonomía Nacional
	Adaptación

4. DETERMINACIÓN DE LA CONVENIENCIA PARA COLOMBIA DE LA ADOPCIÓN DEL ESTÁNDAR DVB-T2

En este capítulo se realiza la unión y consolidación de los puntos de vista de los expertos en tecnologías de Televisión Digital Terrestre (TDT), con el fin de poder evaluar y analizar la conveniencia para Colombia de la adopción del estándar de televisión digital DVB-T2. Para realizar este proceso, se tendrán en cuenta los contenidos analizados en los capítulos anteriores y adicional a esto, se complementará la información, Teniendo la perspectiva de los expertos para poder definir los niveles jerárquicos necesarios para elegir una alternativa sobre otra, así como los criterios de primer nivel y subcriterios de segundo nivel, los cuales son primordiales para poder valorar de buena forma las alternativas seleccionadas.

4.1 TOMA DE DECISIONES.

Para los seres humanos, la toma de decisiones tiene un impacto relevante en un contexto particular, esto se debe ya que al tomar una decisión puede traer un gran número de consecuencias desfavorables a su vez genera conflicto y dudas [41].

Una decisión puede ser juzgada teniendo en cuenta su procedimiento, es decir, se puede considerar que es una “buena decisión” si tuvo el mejor procedimiento posible, sin embargo, en este caso, no es posible evaluar las decisiones de la misma manera ya que todos los efectos traen factores positivos, aunque se desconoce la razón por el cual se tomó. Al momento de realizar una decisión es importante aplicar la técnica adecuada, ya que cada decisión debe tener su explicación, donde determine cuál de las alternativas es la más acertada. Al momento de tomar Buenas decisiones se pueden tener en cuenta parámetros como [42]:

- Los objetivos del proyecto se ven inmersos en la decisión.
- Toda información importante es válida.
- Las preferencias de los expertos se tienen en cuenta.

Se puede considerar que la toma de decisiones es de vital importancia por las siguientes razones [43]:

- Actualmente los proyectos tienen mayor complejidad, por lo cual se presenta un aumento de los problemas de decisión.
- La competitividad en las empresas genera que estas adquieran la toma de decisiones como una necesidad para mejorar.
- El incremento de la responsabilidad al momento de tomar decisiones, debido a que cada vez las leyes demandan mejoras en seguridad y calidad de los productos, instalaciones y obras de ingeniería.

4.2 EL ANÁLISIS DE LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

Actualmente en algunos campos de investigación la forma de toma de decisiones ha aumentado su relevancia.

El análisis de decisiones multicriterio MCDA (Multi Criteria Decision Analysis), es una forma de estructurar procesos al momento de tomar decisiones, por medio de la identificación de criterios, teniendo en cuenta su peso relativo y como utilizarlos en un marco de evaluación, con el fin de poder asegurar que la decisión es transparente [44].

En esta metodología se evalúan las posibles opciones y se determina cual es la más óptima. Inicialmente este método surgió para las ciencias económicas y en ingeniería industrial, desarrollado en la época de los 60 y patentado como herramienta científica en la época de los 70 [45]. Por lo anterior, es normal que el proceso de toma de decisiones pueda tener en cuenta algunos criterios que permitan descomponer el problema, para poder valorar cada uno de esos criterios en las alternativas encontradas. Sin embargo, dentro de las técnicas multicriterio que son desarrolladas para encontrar la mejor alternativa y que cumplan con los requisitos establecidos encontramos: el método scoring, la utilidad multiatributo (MAUT), las relaciones de sobre clasificaciones, el proceso analítico jerárquico, el proceso analítico de red (ANP), entre otros. Sin embargo, la técnica más empleada para proporcionar soluciones a problemas que incluyen la escogencia de alternativas actuales es el PAJ.

4.2.1 Método AHP (Analytic Hierarchy Process)

Diseñado para poder resolver problemas complejos de varios criterios. El resultado final del método AHP es una jerarquización de las alternativas propuestas. Entre sus principales ventajas se encuentra que permite agregar aspectos cualitativos que normalmente se sacan al momento de realizar el análisis, permite de manera eficiente poder organizar la información, descomponerla y analizarla parte por parte.

Para poder aplicarla, se fragmenta el problema en una jerarquía de manera descendente, en el puesto más alto se encuentra el objetivo principal, después, se encuentran los criterios que permitirán la comprensión del problema y finalmente se encuentran las posibles opciones [46].

4.2.2 Fundamentos Y ventajas del método AHP:

EL APH tiene los siguientes fundamentos:

Modelo Jerárquico.

Priorización de los elementos jerárquicos.

Comparaciones binarias.

Evaluación mediante la asignación de pesos.

Rankig de las alternativas dependiendo de los pesos.

Síntesis.

Análisis de Sensibilidad.

A su vez algunas de las ventajas del AHP contra otros métodos de decisión multicriterio son:

Tiene sustento matemático.

Puede analizar un problema por partes.

Puede medir procesos tanto cualitativos como cuantitativos al mismo tiempo.

Poder generar un debate entre los expertos.

Generar una síntesis y realizar un análisis de sensibilidad.

Su utilización es fácil y de manera óptima.

4.2.3 Pasos para usar el PAJ

1. Modelar el problema como una jerarquía:

En este paso se establece la dificultad del problema, con el fin de poder estructurar la información.

En el PAJ, el modelo de jerarquía debe contener el objetivo general, las diferentes alternativas para lograr tal objetivo, y los criterios para evaluar esas alternativas. Como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Jerarquía del modelo AHP [47]

2. Establecer prioridades:

Una vez se tenga la jerarquía, se procede a establecer las prioridades para cada nivel, Realizando una operación matemática. Se evalúa la importancia que se otorgará a cada criterio, teniendo en cuenta que al sumar todos los ponderados el valor será igual a la unidad (1).

3. Sintetizar los juicios:

En este paso se le debe asignar un valor numérico a cada criterio, en este proyecto se realiza la asignación por valoración directa Saaty el cual se explica a continuación en la Tabla 6:

Tabla 6. Tabla para valoración directa de Saaty [48]

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Los atributos son de igual importancia.	Contribuyen de la misma forma al objetivo.
3	Los atributos tienen una importancia moderada.	La experiencia beneficia ligeramente a uno de los componentes.
5	Los atributos tienen una importancia fuerte.	La experiencia beneficia fuertemente a uno de los componentes.
7	Los atributos tienen una importancia muy fuerte.	La experiencia beneficia muy fuerte a uno de los componentes y se puede demostrar en práctica.
9	Los atributos tienen una importancia extrema.	La experiencia favorece una alternativa Extremamente
2,4,6,8	Valores intermedios	No existe una relación fija por lo que se suele poner valores medios

4. Revisar la consistencia del juicio:

No se desea tener juicio de baja consistencia, por lo cual es bueno saber que tan buena consistencia tiene la decisión multicriterio. Para evaluar la consistencia se calcula la razón de consistencia (CR), dado por el coeficiente entre el índice de consistencia (CI) y el índice de consistencia aleatorio (CA). El CI se calcula con la ecuación 1.

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - k}{n - 1}$$

Ecuación 1. Coeficiente entre el índice de consistencia

Cuanto más próximo a 0 sea el valor del coeficiente se puede decir que la consistencia es mejor; por medio de la ayuda de matrices aleatorias del mismo orden se puede calibrar el coeficiente C.I, se demuestra en la tabla 7.

Tabla 7. Valores C.I.A dependiendo de k. [49]

k	C.I.A
2	0
3	0.525
4	0.882
5	1.115
6	1.252
7	1.341
8	1.404
9	1.452
10	1.513
11	1.513
12	1.535
13	1.555
14	1.570
15	1.583
16	1.595

Donde se concluye que si R.C es inferior a 0.1 el grado de comparación por pares es aceptable, pero si el valor es superior a 0.1 existen algunas inconsistencias y se debe revisar los valores.

4.3 DETERMINACIÓN DE LA CONVENIENCIA PARA COLOMBIA DE LA SELECCIÓN DEL ESTANDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL DVB-T2

La propuesta de la conveniencia para Colombia de la selección del estándar de televisión digital DVB-T2 se realiza aplicando el método del proceso analítico jerárquico AHP.

A continuación, se muestra el desarrollo de cada uno de los pasos realizados en el proyecto.

4.3.1 Determinación del objeto de estudio

El objeto de estudio fue definido en el capítulo 3 como: determinar la conveniencia para Colombia de la adopción del estándar DVB-T2. Sin embargo, con el fin de vincular la técnica de toma de decisiones multicriterio, el nuevo objeto de estudio se define de la siguiente forma: determinar la conveniencia para Colombia de la adopción del estándar DVB-T2, a través de la utilización de la técnica de toma de decisiones multicriterio AHP.

4.3.2 Selección de los expertos

Tabla 8. Selección de expertos Fuente: Autor

Experto	Perfil
Abogada de la Universidad Nacional de Colombia	Especializada en Derecho Privado Económico y Derecho Administrativo, cuenta con 10 años de experiencia en contratación pública, investigación y docencia.
Ingeniero Electrónico	Especializado en gerencia de proyectos de ingeniería de telecomunicaciones, en gerencia técnica de proyectos de ingeniería electrónica y master en ingeniería de software y sistemas informáticos, cuenta con más de 20 años de experiencia.
Ingeniero de Telecomunicaciones	Actualmente realizando tesis para la maestría en telecomunicaciones y regulación TIC.

4.3.3 Selección de los criterios de decisión

Los criterios fueron seleccionados y explicados en el capítulo 3, sin embargo, faltó definir si cada uno de ellos se debe maximizar o minimizar. A su vez, faltaba organizarlos después de escuchar las opiniones de los tres expertos.

Tabla 9. Niveles de criterios seleccionados Fuente: Auto

ID	NIVEL	CRITERIO	MAX/MIN
C1.1	1. TÉCNICO	Sistema de Modulación	MAX
C1.2		Banda Base	MAX
C1.3		Sistemas necesarios	MIN
C1.4		Funciones, interoperabilidad dependiendo de la zona	MAX

C1.5		Eficiencia de espectro	MAX
C2.1	2. SOCIAL	Conocimiento	MAX
C2.2		Impacto Social	MAX
C3.1	3. ECONÓMICO	Coexistencia de HD y SD	MAX
C3.3		Costo de Implementación	MIN
C4.1	4. INFRAESTRUCTURA	Climatología	MIN
C4.2		Escalabilidad	MAX
C6.1	6. REGULATÓRIO	Geopolítica	MAX
C6.2		Autonomía Nacional	MAX

Según los expertos, se tomó la decisión de eliminar el criterio ambiental, ya que no tenían diferencia notoria entre las alternativas, a su vez, se eliminaron algunos sub-criterios que no mostraban diferencias representativas.

C.1 Criterio Técnico:

En este nivel se encuentran los aspectos técnicos necesarios para poder identificar las necesidades de un País. Este criterio se puede dividir en los siguientes sub-criterios

C.1.1 Sistema de Modulación (maximizar): Cada estándar posee un modulador excitador diferente.

C.1.2 Banda Base (maximizar): Al utilizar MPEG 2, se emplea un codificador de velocidad variable, esto con el fin de configurar una señal en Transport String.

C.1.3 Equipos (minimizar): Sistemas necesarios para la correcta operatividad del estándar de televisión.

C.1.2 Evaluación de todos los estándares y sus funciones (maximizar): Interoperabilidad entre Alta Definición (HD) y Definición Estándar (SD), teniendo en cuenta diferentes lugares.

C.1.3 Evaluación de la forma más eficaz al momento de utilizar el espectro radioeléctrico **(maximizar)**.

C.2 Criterio Social:

En este nivel se encuentran los aspectos Sociales que se deben tener en cuenta en un país al momento de implementar una nueva tecnología

C.2.1 Impacto Social (Maximizar): Diferencia entre gastos de implementación y la cobertura de la señal en el país

C.2.2 Conocimiento (Maximizar): Termino social de aceptar un estándar más que otro por la región de procedencia.

C.3 Criterio Económico:

En este nivel se encuentran los aspectos Económicos inmersos en la decisión de la elección de una nueva tecnología en el país. Los sub-criterios considerados permitirán establecer de manera clara la inversión a realizar:

C.3.1 Costo de implementación (Minimizar): Cada alternativa dispone de diferentes costos para poder montar su infraestructura en Colombia.

C.3.2 Coexistencia de HD y SD (Maximizar): Las entidades que transmitirían los canales tendrán la opción de transmitir de manera simultánea un canal de HD o varios canales de SD.

C.4 Criterio De Infraestructura:

En este nivel se encuentran los aspectos a niveles de infraestructura necesarios para poder identificar las mejores condiciones de instalación. Este criterio se puede dividir en los siguientes sub-criterios:

C.4.1 Climatología (Minimizar): Cada país tiene diversidad de clima dependiendo de la zona donde se encuentre.

C.4.2 Escalabilidad (Maximizar): Las alternativas se pueden adaptar a las características implementadas en Colombia o tienen que cambiar la infraestructura

C.5 Criterio Regulatorio:

En este nivel se encuentran los aspectos Políticos y/o regulatorios que se tienen en cuenta en un país para la elección de una nueva tecnología.

6.1.1 Geopolítica (Maximizar): Método de estudio de políticas exteriores para estudiar, explicar y realizar una actividad en el país de origen.

6.1.2 Autonomía Nacional (Minimizar): condiciones establecidas por los creadores del estándar para su implementación

4.3.4 Análisis de Dominancia

En esta sección se crea una matriz cuadrada, en la cual el número de filas y columnas corresponde al número de alternativas evaluadas. Con la ayuda de esta matriz se puede definir cuál alternativa domina frente a las otras en cada uno de los criterios evaluados.

Con la ayuda de la matriz de decisión se puede construir la matriz de dominancia, teniendo en cuenta todos los criterios a maximizar, posteriormente, el valor numérico se le restará a cada criterio a con el valor numérico de cada uno de los criterios de la alternativa b, la diagonal de la matriz tendrá un valor de 0 y en la posición (a, b) se escribe la cantidad de criterios donde el valor de la resta es mayor o igual a 0, es decir, que presenta dominancia en la alternativa.

Tabla 10. Matriz de Dominancia Fuente: Autor

	DVB-T2	ATSC	ISDB-T	DTMB
DVB-T2	0	80%	62,5%	80%
ATSC	20%	0	20%	80%
ISDB-T	37,5%	80%	0	80%
DTMB	20%	20%	20%	0

De la matriz anterior se puede concluir que la alternativa DVB-T2 domina sobre las demás alternativas ,ya que domina un 85,714% en los criterios contra las alternativas ATSC y DTMB y un 71,429% en los criterios con la alternativa ISDB-T, la cual podría afirmar que DVB-T2 podría ser la más óptima a ser seleccionada, como en ninguna de las alternativas se presentó el 100% de dominancia, se debe incluir una tabla donde

se incluyan los índices de dominancia (Db/da), estos datos se encuentran al realizar la sumatoria horizontal y vertical respectivamente para luego proceder a su división.

Tabla 11. Matriz de dominancia con índices de dominancia Fuente: Autor

	DVB-T2	ATSC	ISDB-T	DTMB	Db	Db/Da
DVB-T2	0	12	10	12	34	2,833
ATSC	3	0	3	13	18	0,667
ISDB-T	6	12	0	12	30	1,875
DTMB	3	3	3	0	6	0,250
Da	12	27	16	38		

Un ejemplo sería sumar toda la fila horizontal de DVB-T2 la cual tiene los datos $0+12+10+12$ dando un total de 34 en la casilla de Db y luego ese valor será dividido por la suma vertical de la columna DVB-T2 la cual tiene los datos $0+3+6+3$ dando un total de 12 en la casilla de Da, para luego realizar la división de Db/Da siendo $34/12$ para dar un valor de 2,833.

Con la Matriz anterior podemos determinar que la alternativa que tiene mayor índice de dominancia es DVBT-2 con un índice de 2,833, de segunda posición se encuentra la alternativa ISDB-T con un índice de dominancia de 1,875, seguida de la alternativa ATSC con un índice de dominancia del 0,667. Aparentemente la alternativa DTMB podría ser descartada, ya que, en el análisis de dominancia realizado, presenta el índice más bajo de dominancia con un valor de 0,250.

4.3.5 Ponderación de los criterios

El siguiente paso es determinar el peso de cada criterio, tanto de los criterios principales (padres) como el de los sub-criterios (hijos), con la ayuda de la escala de valoración directa de Saaty, se forman parejas de criterios con el fin de determinar la proporción de dependencia de cada alternativa. Los resultados que se obtienen se muestran entre 0 y 1 donde la correspondencia será otorgada por el vector prioridad de la comparación efectuada.

Para evitar las distorsiones que se puedan generar al momento de la ponderación de los criterios, solo se debe tener en cuenta la evaluación de los expertos, posteriormente, se utiliza la media geométrica en los valores encontrados para poder reducir la subjetividad de cada criterio.

Tabla 12. Ponderación Final de los Criterios Según Niveles Fuente: Autor

Niveles	Técnico	Social	Económico	Infraestructura	Regulatorio	Vector Prioridad
Técnico	1	1,23	1,29	1,59	1,69	0,26
Social	0,81	1	1,05	1,30	1,38	0,21
Económico	0,78	0,96	1	1,24	1,32	0,20
Infraestructura	0,63	0,77	0,81	1	1,06	0,16
Regulatorio	0,59	0,73	0,76	0,6	1	0,16
Σ	3,81	4,68	4,90	6,6	6,45	1

De la tabla anterior se puede concluir que el nivel técnico obtuvo un valor de 0.26 en su vector prioridad, es decir, representa el 26% de importancia en los criterios elegidos. El otro 74% restante está incluido en los otros criterios y al totalizarlos obtenemos el 100%.

Tabla 13. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Técnico Fuente: Autor

Técnico	Sistema de Modulación	Banda Base	Equipos	Funciones, interoperabilidad dependiendo de la zona	Eficiencia de espectro	Vector Prioridad
Sistema de Modulación	1	1	1,04	1,04	1,09	0,21
Banda Base	1	1	1,04	1,04	1,09	0,21
Equipos	0,96	0,96	1	1	1,05	0,20
Funciones, interoperabilidad dependiendo de la zona	0,96	0,96	1	1	1,05	0,20
Eficiencia de espectro	0,92	0,92	0,96	0,96	1	0,19
Σ	4,84	4,84	5,04	5,04	5,27	1

En general, del nivel técnico el sistema de modulación obtuvo un valor de 0.21 en su vector prioridad, es decir, representa el 21% de importancia en los sub-criterios elegidos. El otro 79% restante está incluido en los otros sub-criterios y al totalizarlos obtenemos el 100%.

Tabla 14. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Social Fuente: Autor

Social	Impacto Social	Conocimiento	Vector Prioridad
Conocimiento	1	1,04	0,51
Impacto Social	0,96	1	0,49
Σ	1,96	2,04	1

Se puede decir, del nivel social el impacto social obtuvo un valor de 0.51 en su vector prioridad, es decir, representa el 51% de importancia en los sub-criterios elegidos. El otro 49% restante está incluido en los otros sub-criterios y al totalizarlos obtenemos el 100%.

Tabla 15. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Económico Fuente: Autor

Económico	Costo de implementación	Coexistencia de HD y SD	Vector Prioridad
Costo de implementación	1	1,05	0,51
Coexistencia de HD y SD	0,96	1	0,49
Σ	1,96	2,05	1

Del nivel económico, el costo de implementación obtuvo un valor de 0.51 en su vector prioridad, es decir, representa el 51% de importancia en los sub-criterios elegidos. El otro 49% restante está incluido en los otros sub-criterios y al totalizarlos obtenemos el 100%.

Tabla 16. Ponderación Final de los Criterios del Nivel de Infraestructura Fuente: Autor

Infraestructura	Climatología	Escalabilidad	Vector Prioridad
Climatología	1	1	0,50
Escalabilidad	1	1	0,50
Σ	2	2	1

De la tabla anterior se concluye, que del nivel de infraestructura los sub-criterios tienen el mismo valor de vector prioridad, es decir, cada uno representa el 50% de importancia en los sub-criterios elegidos.

Tabla 17. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Regulatorio Fuente: Autor

Regulatorio	Geopolítica	Autonomía Nacional	Vector Prioridad
Geopolítica	1	1,14	0,53

Autonomía Nacional	0,88	1	0,47
Σ	1,88	2,14	1

Del nivel regulatorio, el sub-criterio de Geopolítica obtuvo un valor de 0.53 en su vector prioridad, es decir, representa el 53% de importancia en los sub-criterios elegidos. El otro 47% restante está incluido en los otros sub-criterios y al totalizarlos obtenemos el 100%.

4.3.6 Valoración de las alternativas según cada criterio

Con el fin de poder realizar una valoración de todas las alternativas dependiendo de su criterio, se utiliza nuevamente la media geométrica con los valores obtenidos de la ponderación de los pesos realizados en los pasos anteriores, esto significa que se observa cada criterio y sub-criterio evaluado por los expertos.

A continuación, se representa el resultado de las valoraciones, donde el vector prioridad representa el peso del criterio y de los subcriterios

Tabla 18. Valoración de las Alternativas Fuente: Autor

ID	Nivel	Peso criterio	Criterios	MAX / MIN	Pesos Sub-Criterios	Valoración de alternativas			
						ISDB-T	DTMB	ATSC	DVB-T2
C1.1	1. TÉCNICO	0,26	Sistema de Modulación	MAX	0,21	9	4,22	7,32	8,32
C1.2		0,26	Banda Base	MAX	0,21	6,65	5	6	9
C1.3		0,26	Equipos	MIN	0,20	8,65	3,91	6,65	8,32
C1.4		0,26	Funciones, interoperabilidad dependiendo de la zona	MAX	0,20	6,65	4,46	5,94	9
C1.5		0,26	Eficiencia de Espectro	MAX	0,19	6,60	7,65	5,65	7,61
C2.1	2. SOCIAL	0,21	Impacto Social	MAX	0,51	7,65	6,46	9	8,32
C2.2		0,21	Conocimiento	MAX	0,49	9	6,46	7,96	9
C3.1		0,20	Costo de Implementación	MIN	0,51	7,96	5	6,65	8

C3.2	3. ECONÓMICO	0,20	Coexistencia de HD y SD	MAX	0,49	6,65	5,94	6,32	8,65
C4.1	4. INFRAESTRUCTURA	0,16	Climatología	MAX	0,50	7	7	7	7
C4.2		0,16	Escalabilidad	MAX	0,50	6,95	5,59	6,32	9
C6.1	6. REGULATÓRIO	0,16	Geopolítica	MAX	0,53	8,65	5,59	6,65	8,28
C6.3		0,16	Autonomía Nacional	MIN	0,47	7	7	7	7

4.3.7 Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas

El siguiente paso es calcular el inverso de los valores a minimizar, para poder dejar toda la matriz de decisión con los criterios a maximizar. Posteriormente, se debe aplicar el método de normalización distributiva e ideal.

Tabla 19. Matriz de Decisión Fuente: Autor

ID	Nivel	Peso criterio	Criterios	MAX / MIN	Pesos Sub-Criterios	Valoración de alternativas			
						ISDB-T	DTMB	ATSC	DVB-T2
C1.1	1. TÉCNICO	0,26	Sistema de Modulación	MAX	0,21	9	4,22	7,32	8,32
C1.2		0,26	Banda Base	MAX	0,21	6,65	5	6	9
C1.3		0,26	Equipos	MAX	0,20	0,12	0,26	0,15	0,12
C1.4		0,26	Funciones, interoperabilidad dependiendo de la zona	MAX	0,20	6,65	4,46	5,94	9
C1.5		0,26	Eficiencia de Espectro	MAX	0,19	6,60	7,65	5,65	7,61
C2.1	2. SOCIAL	0,21	Impacto Social	MAX	0,51	7,65	6,46	9	8,32
C2.2		0,21	Conocimiento	MAX	0,49	9	6,46	7,96	9
C3.1	3. ECONÓMICO	0,20	Costo de Implementación	MAX	0,51	0,22	0,13	0,14	0,20
C3.2		0,20	Coexistencia de HD y SD	MAX	0,49	6,65	5,94	6,32	8,65
C4.1		0,16	Climatología	MAX	0,50	7	7	7	7

C4.2	4. INFRAESTRUCTURA	0,16	Escalabilidad	MAX	0,50	6,95	5,59	6,32	9
C6.1	6. REGULATÓRIO	0,16	Geopolítica	MAX	0,53	8,65	5,59	6,65	8,28
C6.3		0,16	Autonomía Nacional	MAX	0,47	0,14	0,14	0,14	0,14

Teniendo los valores maximizados y normalizados, se puede proceder a multiplicar de manera directa dicho valor con los valores de los vectores prioridad obtenidos de cada uno de los criterios. Para complementar, con el propósito de determinar la conveniencia para Colombia de la selección del estándar de televisión Digital DVB-T2; Se realiza la suma vertical y se elige la alternativa que disponga con un valor mayor que al de los demás, con el fin de aplicar el método distributivo y el método ideal.

Tabla 20. Cálculo de la Prioridad (Método Distributivo)

Nivel	Criterios	Evaluación del método Distributivo			
		ISDB-T	DTMB	ATSC	DVB-T2
1. TÉCNICO	Sistema de Modulación	0,0169	0,0079	0,0138	0,0156
	Banda Base	0,0135	0,0102	0,0122	0,0183
	Equipos	0,0094	0,0208	0,0122	0,0098
	Funciones, interoperabilidad dependiendo de la zona	0,0135	0,0084	0,0120	0,0182
	Eficiencia de espectro	0,0120	0,0139	0,0102	0,0138
2. SOCIAL	Conocimiento	0,0265	0,0224	0,0312	0,0288
	Impacto Social	0,0291	0,0209	0,0257	0,0291
3. ECONÓMICO	Costo de implantación	0,0329	0,0191	0,0218	0,0306
	Coexistencia de HD y SD	0,0241	0,0215	0,0229	0,0313
4. INFRAESTRUCTURA	Climatología	0,0206	0,0206	0,0206	0,0206
	Escalabilidad	0,0206	0,0165	0,0187	0,0266
	Geopolítica	0,0245	0,0158	0,0188	0,0234

6. REGULATÓRIO	Autonomía Nacional	0,0175	0,0183	0,0183	0,0183
Resultado Global de forma Distributiva		0,2615	0,2161	0,2382	0,2842

De la tabla anterior se puede concluir que el DVB-T2 cuenta con el 28,42% de prioridad, lo sigue el ISDB-T con 26,15%, de tercer lugar se encuentra el ATSC con 23,82% y en último lugar DTMB con 21,61%

Tabla 21. Cálculo de la Prioridad (Método Ideal)

Nivel	Criterios	Evaluación del método Ideal			
		ISDB-T	DTMB	ATSC	DVB-T2
1. TÉCNICO	Sistema de Modulación	0,05	0,03	0,04	0,05
	Banda Base	0,04	0,03	0,04	0,05
	Equipos	0,02	0,05	0,03	0,02
	Funciones, interoperabilidad dependiendo de la zona	0,04	0,02	0,03	0,05
	Eficiencia de espectro	0,04	0,05	0,04	0,05
2. SOCIAL	Conocimiento	0,09	0,08	0,11	0,10
	Impacto Social	0,10	0,8	0,09	0,10
3. ECONÓMICO	Costo de implantación	0,10	0,06	0,07	0,10
	Coexistencia de HD y SD	0,08	0,07	0,07	0,10
4. INFRAESTRUCTURA	Climatología	0,08	0,08	0,08	0,08
	Escalabilidad	0,06	0,05	0,06	0,08
6. REGULATÓRIO	Geopolítica	0,08	0,05	0,06	0,08
	Autonomía Nacional	0,07	0,07	0,07	0,07
Resultado Global de forma Ideal		0,262	0,216	0,239	0,283

De igual manera como se realizó mostro con el método distributivo, el DVB-T2 cuenta con el 28,3% de prioridad, lo sigue el ISDB-T con 26,2%, de tercer lugar se encuentra el ATSC con 23,9% y en último lugar DTMB con 21,6%

4.3.8 Análisis de resultados

De manera de resumen, en este capítulo los criterios fueron determinados con la ayuda de revisiones bibliográficas y por la ayuda de expertos en la materia; con el fin de poder abarcar el problema de una manera real. Se tuvieron en cuenta los criterios cualitativos y cuantitativos al momento de desarrollar el método AHP, donde los valores fueron adquiridos por asignación directa de los expertos utilizando la escala Likert; se aplicó la media geométrica para poder reducir la subjetividad.

Después, se Compararon los pares por medio de la escala Saaty con el fin de determinar los vectores prioridad de la matriz de decisión. Teniendo la matriz de decisión, se maximizaron y normalizaron todos los criterios de manera distributiva y de manera ideal con el fin de conservar la igualdad de los datos.

Después de realizar el análisis distributivo e ideal se determinó que la mejor opción posible para Colombia fue el estándar DVB-T2 como se estableció en el año 2008, ya que cuenta con una dominancia del 28,1% para DVB-T2, 25,5% para ISDB-T, 24,6 para ATSC y 21,8% para DTMB de manera distributiva y 27,9% para DVB-T2, 25,6% para ISDB-T, 24,7 para ATSC y 21,9% para DTMB de manera ideal. Aunque DVB-T2 y ISDB-T no disponen de mucha diferencia el DVB-T2 posee algunas mejoras ya que el DVB-T en comparación con el ISDB-T requiere menos potencia al momento de realizar la transmisión, entrega datos más estables, y tiene 19% más área de cobertura sin riesgo de auto-interferencia.

En el siguiente capítulo se presenta el análisis de sensibilidad, se realiza con el fin de poder verificar la alternativa escogida, a su vez, poder analizar la variación presentada al cambiar el vector prioridad de los niveles, con el fin de determinar el efecto en las variaciones.

5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para poder explicar de mejor manera el capítulo anterior, y con el fin de dar las razones de la conveniencia para Colombia de escoger DVB-T2; a su vez, al haber realizado un análisis de los resultados obtenidos por el método AHP para comprobarlo, en este capítulo se realizará un análisis de sensibilidad utilizando el software Expert Choice.

El siguiente modelo, es el resultado de realizar el método AHP, dichos datos pueden ser modificados en el software, con el fin de mostrar las posibles variaciones que se pueden presentar al modificar el valor de los pesos.

Se procederá a realizar variaciones de los pesos entre el 5% y el 10%, para ver los posibles cambios, es decir, observar si DVB-T2 seguirá siendo la mejor alternativa, o, por el contrario, alguna de las otras alternativas se posicionará en primer lugar.

5.1 MODELO JERÁRQUICO

La siguiente imagen corresponde al modelo jerárquico, este modelo está compuesto de 4 niveles. En el primer nivel se posiciona la meta principal del proyecto, de segundo nivel se encuentran los 5 criterios, en el tercer nivel están los sub-criterios establecidos para realizar la valoración de cada criterio y por último en el cuarto nivel se encuentran las 4 alternativas evaluadas en este proyecto. La figura 12 solo ilustra algunos de los criterios, esto con el fin de dar a entender al lector de cómo es la composición y no mostrar una imagen demasiado cargada de información.



Figura 12. Árbol de Decisión. Fuente: Expert Choice

Teniendo el modelo jerárquico, se procede a introducir los vectores prioridad en el programa, estos valores salen de la valoración realizada por los 3 expertos. En la figura 13 se puede evidenciar los pesos para cada criterio, en el cual la letra L es el

valor del peso del criterio con respecto a los demás del mismo nivel, es decir, de manera local y la letra G determina el peso de los criterios de manera global.

Se debe aclarar, que al lado izquierdo de cada indicador se encuentra un cuadro de color verde, dicho cuadro representa que el programa se está ejecutando de manera correcta, además, cada cuadro indica el peso local que genera dicha contribución, por eso la meta cuenta con la totalidad del cuadro de color verde, ya que representa que es la totalidad del proyecto.

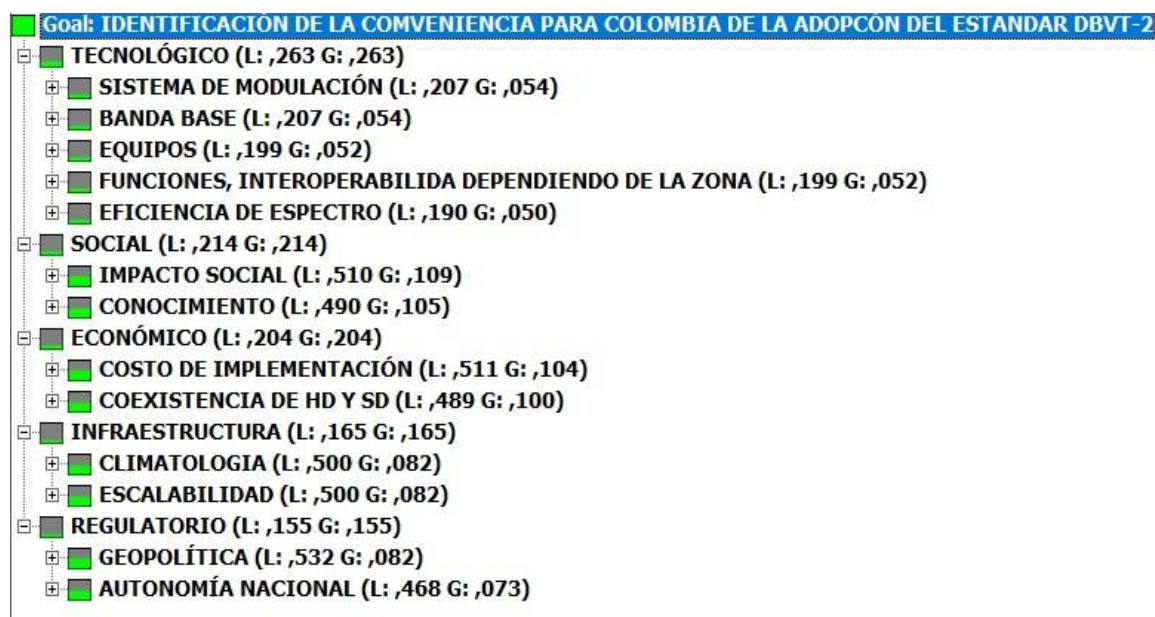


Figura 13. Niveles y Sub-niveles. Fuente: Expert Choice

Teniendo los datos en el software, realizan los gráficos de los métodos distributivo e ideal. Donde se expresan de manera visual los resultados del capítulo anterior.

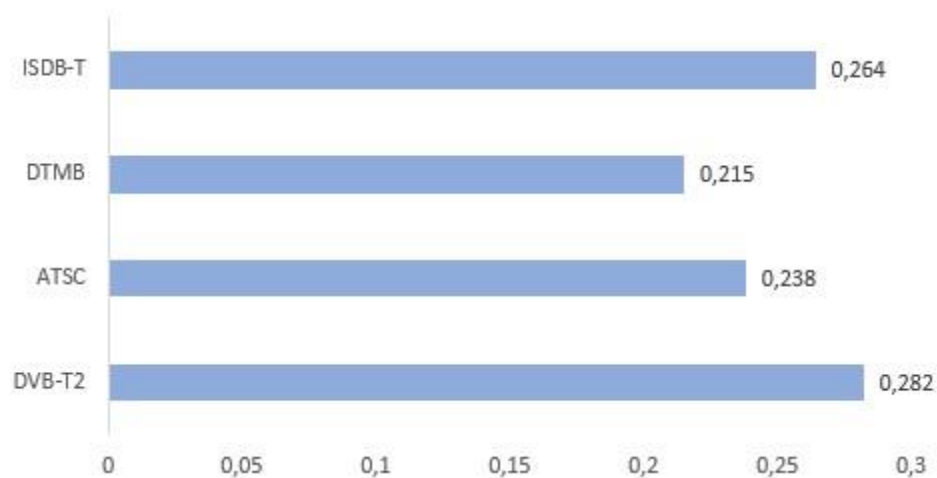


Figura 14. Resultado Modo distributivo. Fuente: Autor

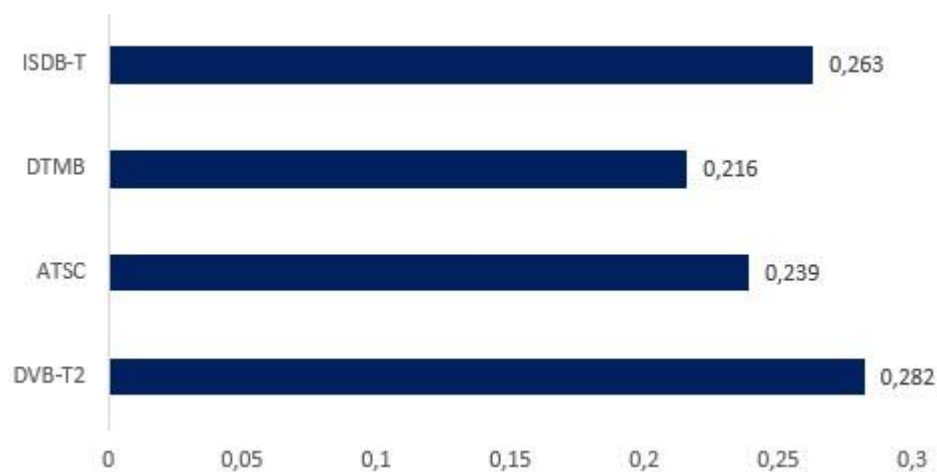


Figura 15. Resultado Modo ideal. Fuente: Autor

5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con la función Performance de Expert Choice se pueden presentar los valores obtenidos de forma gráfica, donde muestra la escala de las alternativas donde tenían mejoría en los criterios Técnico, Social, Económico, infraestructura, y Regulatorio.

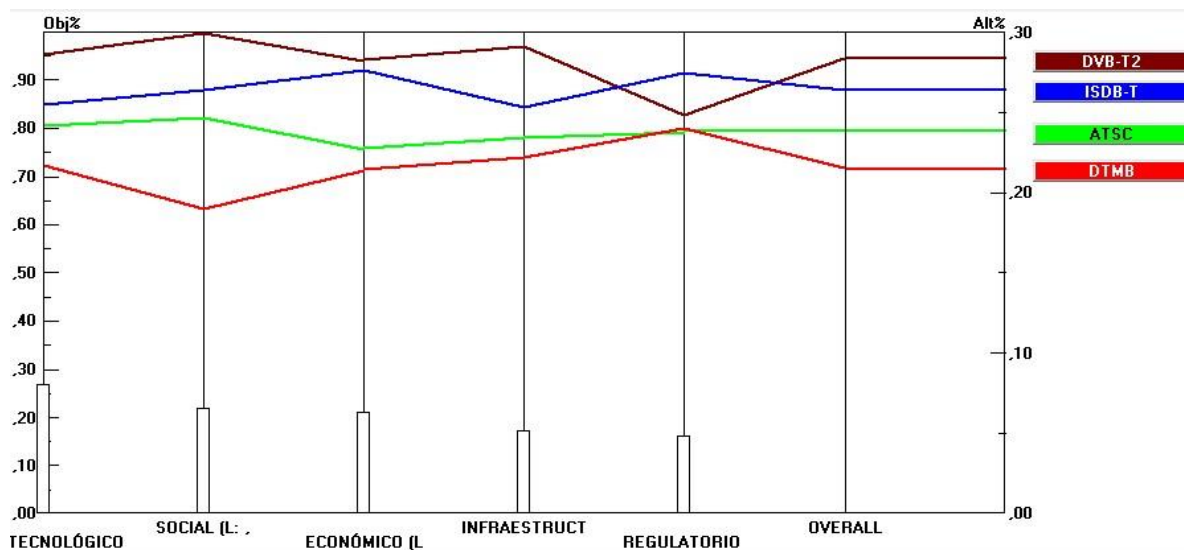


Figura 16. Análisis de sensibilidad Modo Distributivo. Fuente: Expert Choice

De la anterior gráfica se puede decir que la alternativa DVB-T2 es la que obtiene la mayor prioridad, en segundo lugar, estaría ISDB-T, de tercer lugar ATSC y de última posición DTMB. se puede apreciar que en la mayoría de los criterios las alternativas presentadas están muy parecidas.

DVB-T2 tiene dominancia en 4 de 5 criterios siendo superado por ISDB-T en el criterio regulatorio ya que por Geopolítica este tenía más posibilidades de ser elegido.

5.2.1 Sensibilidad a la variación menor del 10%

Para poder observar si se presenta un cambio al variar el 10% en cada uno de los criterios se utilizará la herramienta dinámica de Expert Choice, el cual permite variar a gusto los criterios establecidos. Se varia 10% a los criterios técnico, social, Económico, infraestructura y regulatorio respectivamente.

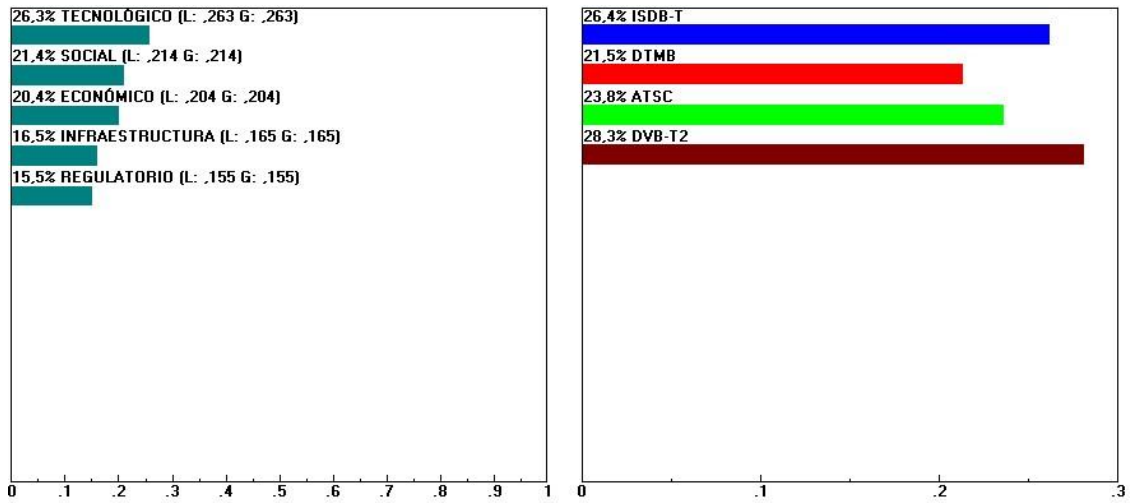


Figura 17. Análisis de sensibilidad Dinámico sin modificar. Fuente: Expert Choice

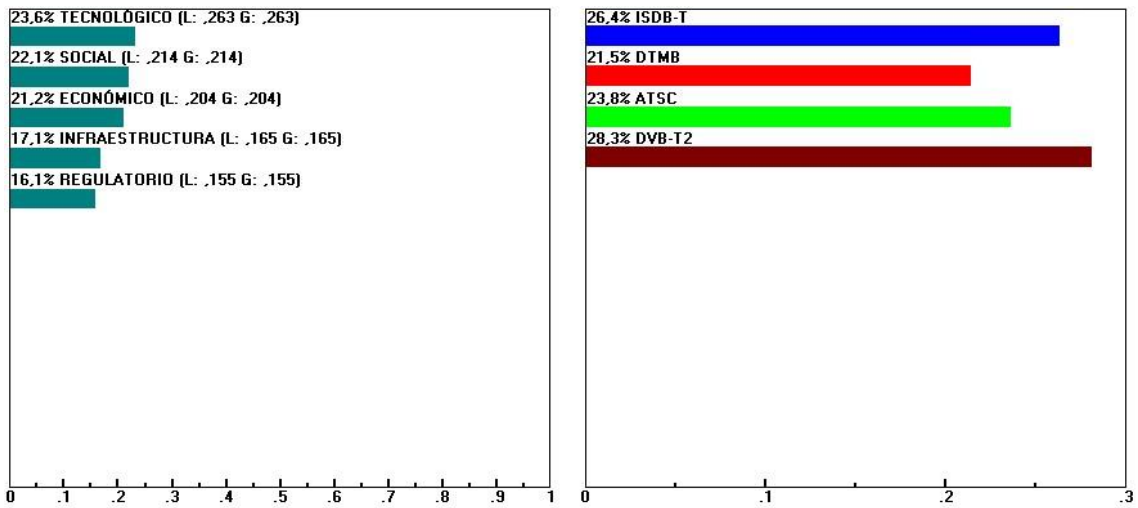


Figura 18. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Técnico. Fuente: Expert Choice

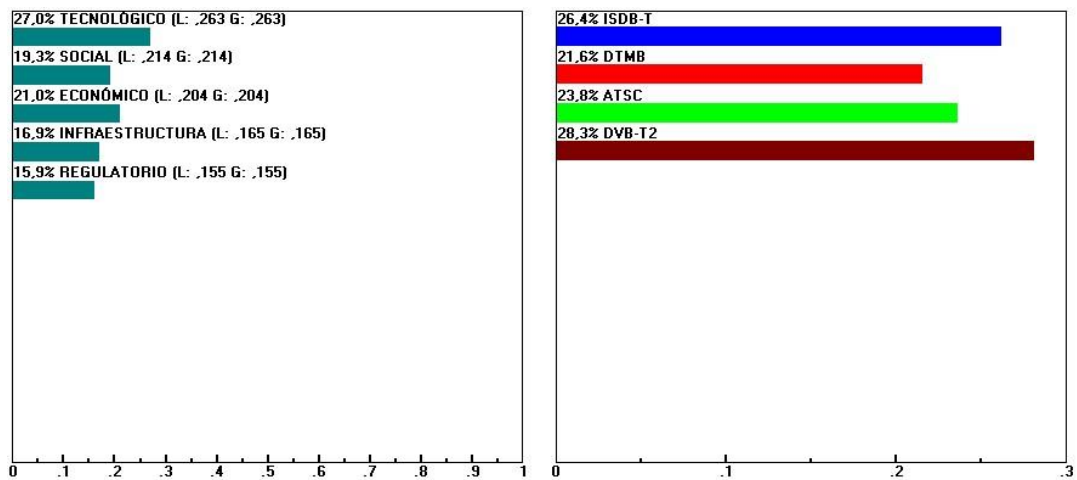


Figura 19. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Social. Fuente: Expert Choice

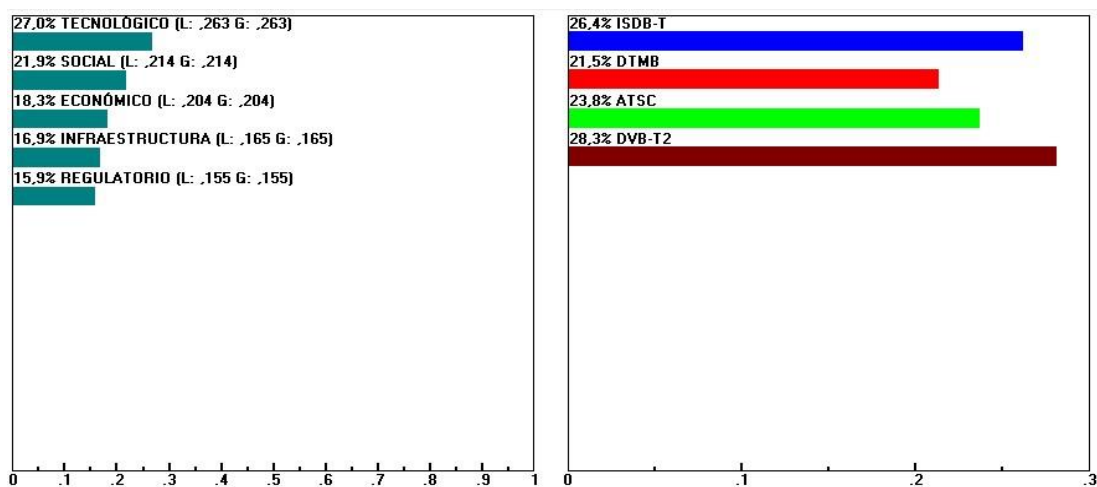


Figura 20. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Económico. Fuente: Expert Choice

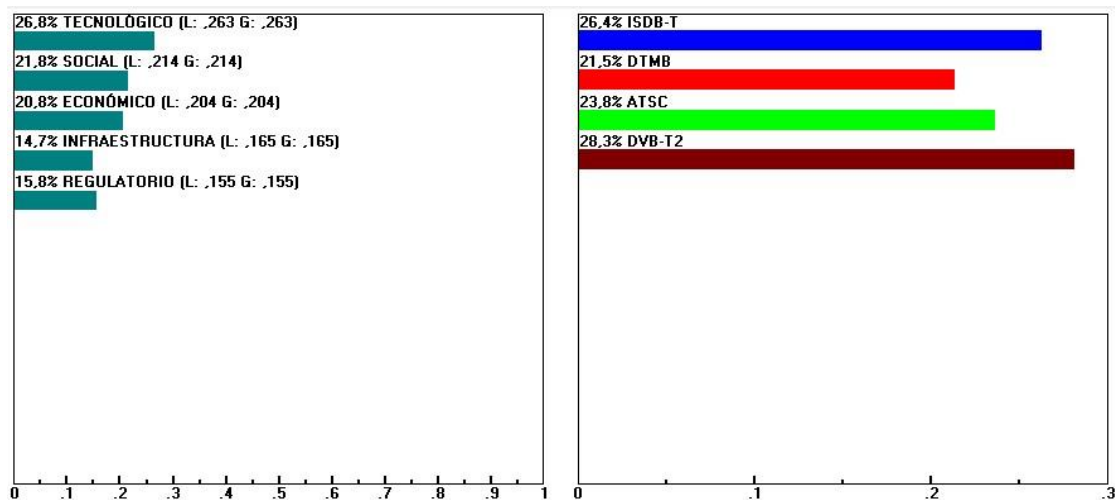


Figura 21. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Infraestructura. Fuente: Expert Choice

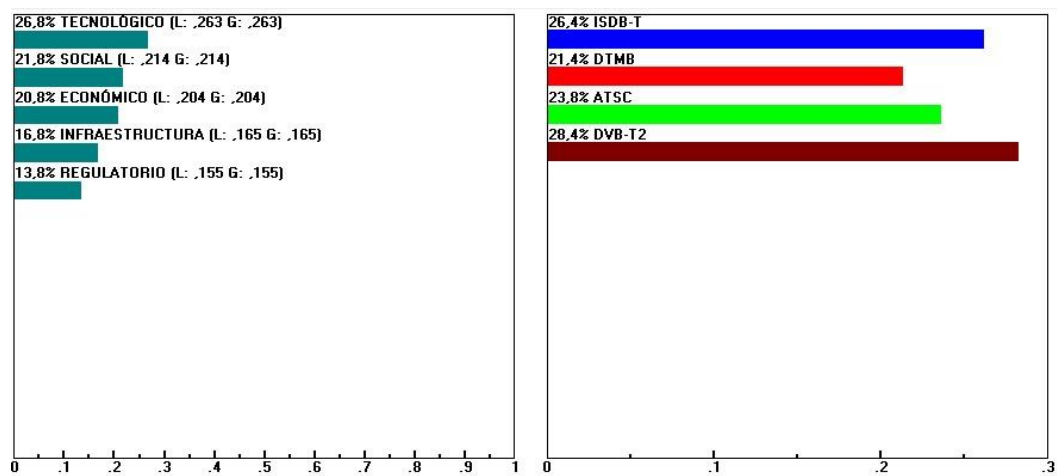


Figura 22. Análisis de sensibilidad Dinámico para criterio Regulatorio. Fuente: Expert Choice

Tabla 22. . Análisis de Sensibilidad Modo Distributivo < a 10% Fuente: Autor

Criterios					Alternativas			
Técnico	Social	Económico	Infraestructura	Regulatorio	ISDB-T	DTMB	ATSC	DVB-T2
23,6%	22,1%	21,2%	17,1%	16,1%	26,4%	21,5%	23,8%	28,3%
27%	19,3%	21%	16,9%	15,9%	26,4%	21,6%	23,8%	28,3%
27%	21,9%	18,3%	16,9%	15,9%	26,4%	21,5%	23,8%	28,3%
26,8%	21,8%	20,8%	14,7%	15,8%	26,4%	21,5%	23,8%	28,3%
26,8%	21,8%	20,8%	16,8%	13,8%	26,4%	21,4%	23,8%	28,4%

Al realizar la variación exacta del 10% reducido a cada criterio, se puede demostrar que la alternativa DVB-T2 sigue siendo la mejor opción. A continuación, se realizarán más variaciones para poder sacar conclusiones más robustas.

5.2.2 Sensibilidad a la variación mayor del 10%

Se realizará variaciones del 50% de manera distributiva y de manera ideal, con el fin de examinar los posibles escenarios.

Tabla 23. Análisis de Sensibilidad Modo Distributivo > a 10% Fuente: Autor

Criterios					Alternativas			
Técnico	Social	Económico	Infraestructura	Regulatorio	ISDB-T	DTMB	ATSC	DVB-T2
13,3%	25,1%	24%	19,4%	18,2%	26,6%	21,5%	23,7%	28,3%
39,1%	17,6%	16,9%	13,6%	12,8%	26,2%	21,5%	23,9%	28,4%
22,6%	32,4%	17,6%	14,2%	13,3%	26,4%	21,1%	23,9%	28,5%
29,7%	10,9%	23,1%	18,7%	17,6%	26,4%	21,8%	23,7%	28,1%
22,9%	18,7%	30,5%	14,4%	13,5%	26,6%	21,5%	23,7%	28,3%
29,6%	24%	10,4%	18,5%	17,4%	26,2%	21,5%	23,9%	28,3%
23,7%	19,2%	18,4%	24,8%	14%	26,3%	21,6%	23,8%	28,4%
28,8%	23,4%	22,4%	8,3%	17%	26,5%	21,4%	23,8%	28,8%
23,8%	19,4%	18,5%	14,9%	23,3%	26,5%	21,7%	23,8%	28%
28,9%	23,5%	22,5%	18,1%	7,1%	26,3%	21,2%	23,8%	28,7%

Tabla 24. Análisis de Sensibilidad Modo Ideal > a 10% Fuente: Autor

Criterios					Alternativas			
Técnico	Social	Económico	Infraestructura	Regulatorio	ISDB-T	DTMB	ATSC	DVB-T2
13,8%	25%	23,9%	19,3%	18,1%	26,5%	21,6%	23,8%	28,1%
39,8%	17,4%	16,7%	13,4%	12,7%	26,2%	21,7%	23,9%	28,2%
22,6%	32,4%	17,6%	14,2%	13,3%	26,3%	21,2%	24%	28,4%
29,9%	10,4%	23,3%	18,8%	17,7%	26,3%	22%	23,8%	27,9%
22,9%	18,6%	30,7%	14,3%	13,5%	26,5%	21,6%	23,8%	28,2%
29,6%	24%	10,4%	18,5%	17,4%	26,2%	21,6%	24%	28,2%
23,7%	19,3%	18,5%	24,5%	14%	26,2%	21,7%	23,9%	28,2%
28,8%	23,4%	22,4%	8,3%	17%	26,4%	21,5%	23,9%	28,1%
23,8%	19,4%	18,5%	14,9%	23,3%	26,4%	21,8%	23,9%	27,8%
28,8%	23,4%	22,4%	18,1%	7,3%	26,2%	21,4%	23,9%	28,5%

Se puede concluir que, aunque se varió 50% tanto por encima como por debajo, la mejor alternativa sigue siendo DVB-T2, por lo que se puede decir de una forma segura que es la mejor alternativa para seleccionar. Así mismo ISDB-T ocupó siempre el segundo lugar, ATSC el tercero y DTMB el cuarto.

5.2.3 Comparación entre las diferentes alternativas

El programa Expert Choice dispone de una herramienta llamada head to head, esta permite comparar las alternativas con el fin de determinar el aporte de cada uno de los criterios.

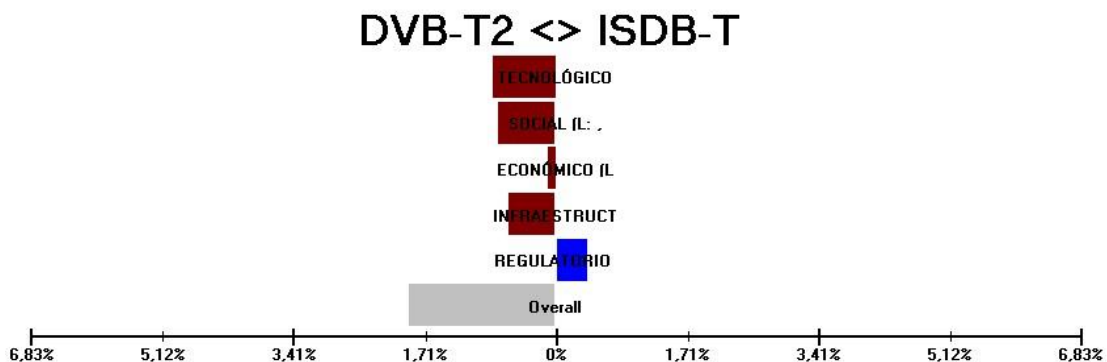


Figura 23. Comparación entre DVB-T2 y ISDB-T. Fuente: Expert Choice

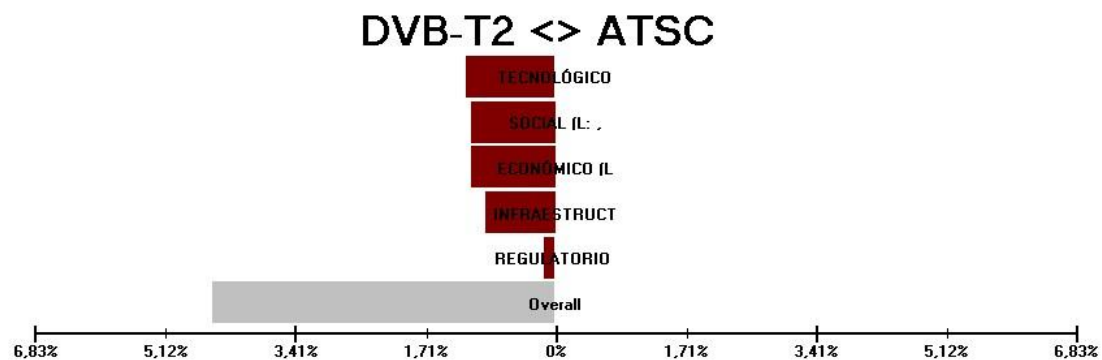


Figura 24. Comparación entre DVB-T2 y ATSC. Fuente: Expert Choice

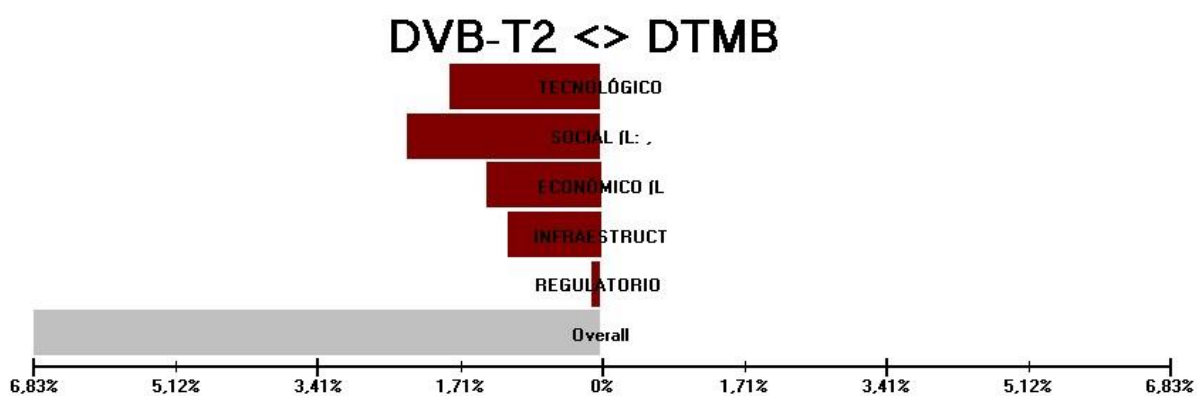


Figura 25. Comparación entre DVB-T2 y DTMB. Fuente: Expert Choice

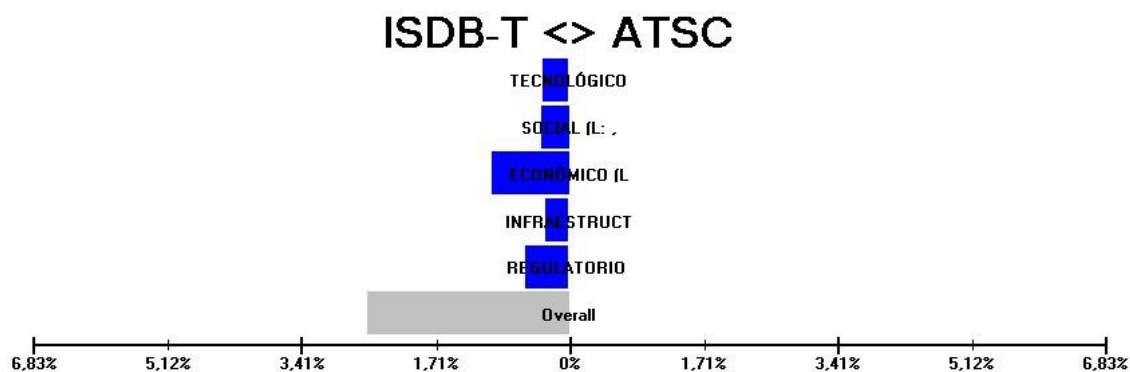


Figura 26. Comparación entre ISDB-T y ATSC. Fuente: Expert Choice

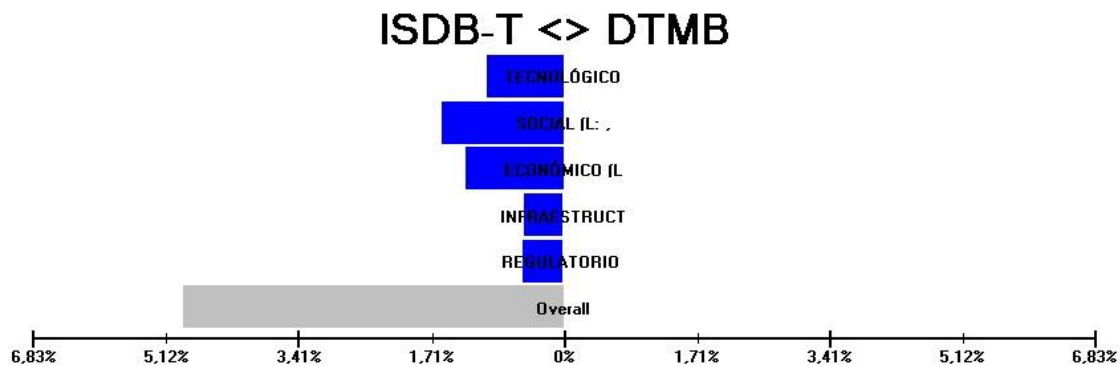


Figura 27. Comparación entre ISDB-T y DTMB. Fuente: Expert Choice

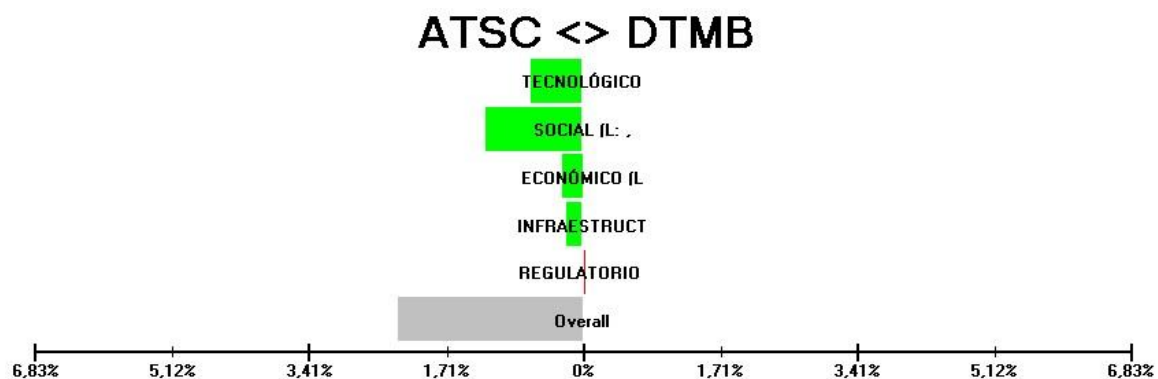


Figura 28. Comparación entre ATSC y DTMB. Fuente: Expert Choice

De las comparaciones realizadas se puede notar como DVB-T2 le gana en casi todo a las otras alternativas, sin embargo, esa victoria en porcentaje es relativamente baja, muestra sus fortalezas en los niveles técnico, Social e infraestructura. Por lo cual se puede considerar a DVB-T2 como la mejor alternativa posible para Colombia.

El estándar DVB-T2 le gana al estándar ISDB-T2 por una diferencia del 1.9%, teniendo superioridad en el nivel tecnológico ya que en pruebas de campo este ofrece una mayor interoperabilidad, mayor potencia y mayor velocidad, con respecto al nivel social, aunque ISDB-T se conoce más en Latinoamérica, se tenía mayor conocimiento del DVB-T2 por lo cual su impacto social se consideraba más favorable, en el nivel económico e infraestructura no se registra una diferencia representativa, aunque el sistema DVB-T2 está diseñado para un ambiente sin recepción externa fija. A nivel regulatorio ISDB-T tenía la ventaja por ser el más utilizado en Latinoamérica generando más impacto en la Geopolítica, a su vez, aventaja al estándar ATSC con una diferencia del 4,5% y al estándar DTMB con una diferencia del 6,8%, superando en todos los criterios de estos dos últimos.

El estándar ISDB-T se puede considerar como la segunda posibilidad que tenía Colombia, ya que supera al estándar ATSC con una diferencia del 2,6% y una diferencia del 4,9% con respecto al estándar DTMB derrotando a los dos en todos sus criterios. Se debe aclarar que este estándar era el más económico al momento de realizar su implementación.

En tercer lugar, se encuentra el estándar ATSC que supera al estándar DTMB con una diferencia del 2,3%, superándolo en todos los criterios menos en el criterio regulatorio donde no se encuentra una importancia significativa, se registra un alto impacto social ya que Colombia sostiene el estándar analógico establecido por Estados Unidos.

Por último, se encuentra el estándar DTMB, este estándar gestiona de mejor forma que los anteriores el uso del espectro, pero por esto lo hacía el estándar más costoso de implementar en Colombia, por lo cual quedo en el último lugar, lo que a su vez se sumaba el hecho de no tener mucha información sobre él.

6. ESTADO DE DESPLIEGUE ACTUAL EN COLOMBIA

Con la ayuda de este capítulo, se busca explicar el estado actual de despliegue de la televisión digital terrestre en Colombia, teniendo en cuenta las fases que se desarrollaron con sus condiciones, con la cual podremos determinar si se cumplió con lo establecido por la RTVC.

6.1 EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA EN COLOMBIA

En Colombia se estableció el plan de cobertura en redes TDT en el Artículo Décimo del Acuerdo CNTV 002 de 2012, sin embargo, después de un año, el Plan sufrió una modificación por medio de la resolución ANTV 1132 de 2013. Donde se establecieron las metas de cobertura de la red. En la siguiente tabla se puede observar un resumen del plan de cobertura establecido para ambas redes con sus proyecciones poblacionales.

Tabla 25. Plan de cobertura TDT en Colombia

AÑO	Proyecciones establecidas por el DANE	CCNP		RTVC	
		Obligación red Tx	Obligación de cobertura	Obligación red Tx resolución 1132	Obligación Poblacional resolución 1132
2012	46.581.372	49.88%	41.96%	-	-
2013	47.129.770	49.88%	41.99%	-	-
2014	47.661.368	49.88%	42.02%	49.48%	49.48%
Mayo 2015	48.202.517	63.60%	53.61%	63.60%	63.60%
2015	48.202.617	73.75%	62.17%	73.75%	73.75%
2016	48.747.632	86.26%	72.76%	86.26%	86.26%
2017	49.291.925	93.38%	78.81%	89.26%	88.26%
2018	49.834.727	100%	84.44%	92.62%	92.26%

Para impulsar el desarrollo de las telecomunicaciones en Colombia el gobierno nacional impuso en el plan Nacional de desarrollo 2014-2018 “Todos para un nuevo país” que la ANTV (Autoridad Nacional de Televisión) sea la que promueva el

desarrollo de la televisión Digital terrestre y el DTH (Direct To Home) con el fin de llevar la televisión a todo el territorio nacional.

La RTVC como gestor de televisión pública es la seleccionada para desplegar la red de televisión donde se transmitirán contenidos públicos y nacionales, como establece la ley 1507 de 2012. Desde este año la extinta CNTV (Comisión Nacional de televisión) estableció que se debe llegar a un 92.26% de cobertura en el año 2018. A su vez, se estableció en el Artículo Octavo un plazo máximo para las actividades de televisión analógica realizándose así, el apagón analógico antes del 31 de diciembre de 2019.

En el año 2016 se presentó el proyecto de implementación Fase III de TDT, la cual logro una cobertura del 85.9% de la población, y se esperaba poder aumentar ese porcentaje en el presente año a 87.7%. Para poder concluir que RTVC es la entidad que busca implementar las estaciones para poder aumentar la cobertura en Colombia. A su vez se implementó la estación de pueblo Nuevo para el municipio de Ocaña para tener un total de 87.9% de cobertura Nacional

Para 2018 se planificaba el uso de 305 estaciones las cuales serían implementadas en la fase IV de la red pública de TDT donde se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Selección de Estaciones que provean mayor cobertura

- Ubicar estaciones que puedan cubrir capitales departamentales que no hayan sido seleccionadas en las fases I y II

- Estaciones con cubrimiento fronterizo

En la tabla 26 se muestran las 25 estaciones que se establecieron con el fin de poder aumentar un 3.8% de cubrimiento, sumándolo al 87.9% que se tenía anteriormente dando un porcentaje de cobertura del 91.7%, adicionalmente por análisis en otros procesos ya realizados, los tramites de contratación han superado aproximadamente el 20% de su presupuesto, con lo cual se puede llegar a tener una mayor cobertura, siempre y cuando los proveedores diseñen mecanismos de evaluación para poder aumentar el número de estaciones a instalar.

6.1.1. Fase I (Planeación del proyecto)

Al iniciar la fase I del plan de cobertura TDT para la TDT en Colombia se disponía con este porcentaje de cobertura. Donde se estableció un diseño general, un cronograma de ejecución y donde se ajustó toda la logística del proyecto donde se

compraron los equipos del contrato. En esta fase se cubrieron las ciudades de Cali, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, Cúcuta y Santa Marta y a sus municipios cercanos. En el 2011 se implementó el DVB-T2 en Bogotá y Medellín, los cuales tenían que coexistir con el estándar DVB-T1 instalado anteriormente el cual fue vigente hasta agosto del 2015.



Figura 29. Cobertura TDT fase I [51]

6.1.2. Fase II (Construcciones o adecuaciones civiles y fabricación de equipos)

Mejora de la red según los requiera, incluido el trabajo de instalación de 10 torres nuevas teniendo en cuenta la estructura y el clima de la región. Se realizan pruebas de funcionamiento de fábrica y mediciones de aceptación en los sistemas de transmisión. Con las nuevas torres se dio cobertura a otros 65 municipios y ciudades como Pasto, Villavicencio, Ibagué, Montería, Riohacha, Tunja, Valledupar y Sincelejo, a su vez, inicio la operación de 10 nuevas estaciones con el fin de cubrir otros 55 municipios más, algunos de los municipios Buenaventura en el Valle del Cauca, y el sector de El Rodadero en Santa Marta, fue el que inicio la transmisión

de TDT en San Andres Islas y también marcó el inicio de la transmisión de la Televisión Digital Terrestre en San Andrés Islas.



Figura 30. Cobertura TDT fase II [51]

6.1.3. Fase III (Instalación, pruebas y mediciones de aceptación en estación de los sistemas eléctricos de transmisión)

En 2016 inicio esta etapa, donde realiza el suministro e instalación de los sistemas eléctricos, construcción de 16 estaciones de transmisión, se realiza una prueba del correcto funcionamiento de los sistemas. Además, inició la transmisión en 16 municipios de los departamentos del Atlántico, Bolívar y Magdalena.



Figura 31. Cobertura TDT fase III [51]

La ANTV realizó el proceso de armonización de redes de TDT, donde llamo al CCNP (Consortio de Canales Nacionales Privados) DONDE LOS CANALES Caracol, RCN ayudaron a comparar diseños usando la ingeniería aplicada con el fin de poder unificar criterios y garantizar la mejor calidad.

Tabla 26. Estaciones y proveedores beneficiados por la fase III de TDT [52]

Estación	Operador	Municipio principal Cubierto
El Ruiz	RTVC Telecafé	Manizales
Jurisdiccionales	RTVC Canal TRO Telecaribe	Barrancabermeja
La Rusia	RTVC Teveandina	Tunja
Bañaderos	RTVC Telecaribe	Riohacha
Buenavista	RTVC Teveandina	Garzón
Cerro Azul	RTVC Teleantioquia Telecaribe	Caucasia
Cerro Carepa	RTVC Teleantioquia	Apartadó
Galeras	RTVC Telepacífico	Pasto
Leticia	RTVC Teveandina	Leticia
Martinica	RTVC Teveandina	Ibague
Mirador	RTVC Teveandina	Mocoa
Montezuma	RTVC Telepacífico	Quibdó
Munchique	RTVC Telepacífico	Popayan

Saboyá	RTVC Teveandina Canal TRO	Chiquinquirá
San Gil	RTVC Canal TRO	San Gil

6.1.4. Fase IV (Mediciones de campo)

Se realizan mediciones donde se evalúa la cobertura, se comprueban los diagramas de radiación y los de exposición a los campos electromagnéticos. Empieza el cubrimiento en los municipios del Carmen de Bolívar en el departamento de Bolívar y Corozal en el departamento de Sucre, también en la ciudad de Quibdó en el departamento del Chocó, y empezaron a funciones 25 estaciones de los canales privados RCN y Caracol para dar cubrimiento a otros 54 municipios, con el fin de ampliar la cobertura de Colombia al 88,44%.



Figura 32. Cobertura TDT fase IV [51]

Tabla 27. Estaciones a implementar en la fase IV [50]

	Nombre de la estación	Departamento	Población cubierta por estación	Porcentaje población cubierta
1	LA CEJA	ANTIOQUIA	229.306	0.46
2	YOPAL	CASANARE	191.420	0.384

3	PITALITO	HUILA	173.213	0.348
4	TIERRAALTA	CÓRDOBA	153.228	0.307
5	TAMINANGO	NARIÑO	102.805	0.206
6	ARAUCA	ARAUCA	92.107	0.185
7	TESALIA	HUILA	75.418	0.151
8	NUEVO COLÓN	BOYACÁ	72.723	0.146
9	SAN VICENTE DEL CAGUÁN	CAQUETÁ	71.704	0.144
10	SAN JOSÉ DEL GUAVIARE	GUAVIARE	67.767	0.136
11	NECOCLÍ	ANTIOQUIA	67.359	0.135
12	PUERTO ESCONDIDO	CÓRDOBA	57.781	0.116
13	ORITO	PUTUMAYO	56.365	0.113
14	CUCUNUBÁ	CUNDINAMARCA	56.348	0.113
15	VALLE DEL GUAMUEZ	PUTUMAYO	53.649	0.108
16	PUERTO LIBERTADOR	CÓRDOBA	52.371	0.105
17	SAMANIEGO	NARIÑO	49.270	0.099
18	SARAVENA	ARAUCA	48.318	0.097
19	BELEN DE UMBRÍA	RISARALDA	45.655	0.091
20	BOLÍVAR	CAUCA	44.836	0.09
21	ARBOLETES	ANTIOQUIA	43.416	0.087
22	ARAUQUITA	ARAUCA	42.580	0.085
23	MITÚ	VICHADA	32.457	0.065
24	INÍRIDA	GUANÍA	20.312	0.041
25	PUERTO CARREÑO	VICHADA	16.504	0.033
TOTAL			1.916.912	3.8%

Una vez se produzca el apagón analógico se desea disponer con una red complementa mente nueva con la última tecnología con el fin de poder entregar una mejor cobertura y señal a Colombia.

6.1.5. Fase V (Garantía y suministro de repuestos)

Dispone la garantía y el mantenimiento de los equipos establecidos en el contrato, en el caso de una falla se genera un reporte a la RTVC donde el contratista debe suministrar el equipo dañado y ser arreglado por el personal del mismo.

Aquí se debe asegurar lo establecido de cobertura TDT en Colombia que según la CNTV es de un 92.26% para finales del año 2018.

6.1.6. Tiempos estimados del proyecto TDT

Tabla 28. Cronograma de actividades [51]

Hitos del proyecto	
Meta	Plazo
Hito 1. Cronograma	Hasta 7 días después del acta inicial
Hito 2. Instalación y puesta en servicio de estaciones obligatorias.	31 de Diciembre del 2018
Hito 3. Instalación y puesta en servicio de estaciones adicionales.	15 de Febrero del 2019
Hito 4. Mediciones Estaciones obligatorias	31 de Marzo del 2019
Hito 5. Mediciones Estaciones adicionales	15 de Mayo del 2019
Hito 6. Documentación Final	15 de Junio del 2019
Hito 7. Acta de finalización	30 de Junio del 2019

6.1.7. TRANSICIÓN HACIA LA TDT

En el 2016 se realizaron planes piloto en el municipio de San Andrés y Pachavita (Boyacá), En San Andrés se realizó por medio del canal Teleislas. El plan contaba con decodificadores, equipos y transmisores, y capacitaciones para la instalación de recepción TDT que fue realizada por el SENA. [53].

Se definieron algunas rutas de verificación utilizando la unidad móvil de la ANTV, donde se realizaron pruebas de verificación de desempeño, calidad de servicio, cobertura y condiciones técnicas de la señal de Televisión Digital Terrestre.

Con la ayuda de la (EU) unión europea y su convenio suscrito del 2013 el cual establece que se debe: *“contribuir a la migración en Colombia de la televisión análoga a la televisión digital terrestre utilizando el estándar DVB-T2, asegurando el aprovechamiento de las ventajas comparativas que ofrece esta tecnología, brindando una televisión de calidad y promoviendo la utilización de la red pública como instrumento que genera nuevas oportunidades para promover la cohesión social y territorial, la innovación y el desarrollo económico del país”* [54]

Con la ayuda de este convenio se propuso:

Apoyar a las entidades del sector en temas de administración y gestión del espectro electromagnético relacionadas con la televisión.

Brindar asesoría al Estado colombiano para la definición de la regulación referida al impulso e implementación de la televisión digital

Dar asistencia técnica a los agentes de Televisión, para la generación de contenidos digitales aptos

En el año 2017 se entregaron 45.830 decodificadores en 13 municipios del país donde beneficiaban a una población de 35.935.336 Personas.

Tabla 29. Sistemas de recepción TDT entregados por la UE [55]

Departamento	Municipio	Decodificadores
Tolima	Ibagué	10.000
Valle del Cauca	Buenaventura	10.000
Cesar	Valledupar	4.500
La Guajira	Riohacha	3.500
Chocó	Quibdó	2.200
Córdoba	Lorica	2.000
Magdalena	Ciénaga	2.000
Norte de Santander	Villa del Rosario	2.000
Cauca	El Tambo	2.000
Quindío	La Tebaida	2.000
Antioquia	Marinilla	2.000
Bolívar	Turbaco	1.800

Meta	Puerto López	1.800
Total		45.830



Figura 33. Distribución de los sistemas de recepción TDT entregados por la UE [55]

6.2 DESPLIEGUE ACTUAL TDT

En Colombia actualmente la TDT cubre 690 municipios de 1120, cuenta con 40 estaciones de transmisión pública desde el año 2015, y se planea que para finales de este año cuente con 80.136 antenas y decodificadores en todo el territorio Colombiano, se han invertido aproximadamente 7 millones de euros en el desarrollo técnico y normativo, esto con el fin de poder garantizar un cubrimiento nacional de la señal TDT dando énfasis en las poblaciones donde no se tiene acceso a la señal de televisión. Actualmente cuenta con 14 canales en HD [56].

Con lo dicho en los anteriores capítulos se puede decir que Colombia ha seguido paso a paso lo que han impuesto los organismos reguladores de la televisión Digital terrestre, y está asegurando casi su totalidad de cubrimiento a nivel de población [57].

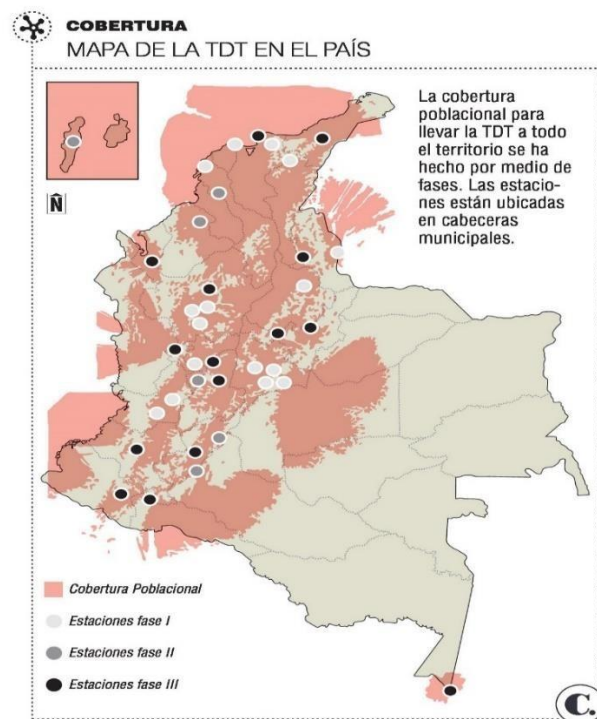


Figura 34. Despliegue Actual TDT en Colombia [58]

Aunque la Televisión Digital Terrestre en Colombia está disponible en gran parte del territorio, con una cobertura nacional del 91.6%, existen dudas entre los colombianos donde se explica cómo se puede conectar para poder disfrutar del servicio. La ANTV indica que aproximadamente 9 millones de personas podrían usar el servicio. En el país se han vendido aproximadamente 2 millones de televisores con el estándar DVB-T2, el cual es completamente necesario para recibir la señal TDT.

La señal de la TDT por ley debe ser gratis, sin suscripciones y sin contratos, el cual da una solución para los habitantes que no tienen acceso a televisión por cable o satelital. La razón principal por la cual los habitantes del territorio colombiano no utilizan el servicio TDT es por el desconocimiento y por la dificultad de algunos para acceder a las nuevas tecnologías que se requieren para realizar la transición.

La ANTV asistió a una reunión el pasado 31 de enero del 2019 en ACIEM Bogotá, internacionales en aspectos técnicos, regulatorios, de contenido y de divulgación, con la cual aseguran poder continuar con el proceso de migración de la TDT en Colombia. Donde Ernesto Orozco, representante de las Gobernaciones ante la Junta Nacional de Televisión resalto que Colombia ha recibido asistencia y asesoría de expertos y asegura que el apagón analógico podría cumplirse en la fecha establecida.

7. CONCLUSIONES

1. La televisión analógica digital permite transmitir múltiples señales por el mismo canal ya que la transmite de forma binaria y por su composición permite ser recibido desde cualquier dispositivo y es gratuita por lo cual se puede asegurar que es indispensable para Colombia realizar el Apagón analógico.
2. El desarrollo de la TDT está aún en sus inicios, en el futuro podrá abrir oportunidades de negocio, además de ser, una herramienta para resolver problemas sociales (como la enseñanza, administración, electrónica entre otros).
3. La realización de un análisis para decidir la conveniencia para Colombia de la selección del estándar de Televisión Digital DVB-T2 con ayuda del método AHP, teniendo aspectos técnicos, de infraestructura, ambiental, social, económico y regulatorio, enseña la complejidad ya sé que debe evidenciar una visión real de la problemática para poder sustentarla de forma matemática.
4. Los cuatro estándares de televisión Digital pueden transmitir contenidos en alta definición y en definición estándar, no se generan diferencias que marquen la resolución de video, a su vez, poseen similares capacidades hablando de la señal de audio.
5. El peso obtenido para los niveles Técnico es el más alto con un 26% de importancia entre los criterios evaluados. Por lo cual se logra demostrar que Colombia efectivamente dispone del estándar más apropiado teniendo en cuenta que en la fecha de su adquisición se evaluaron en su mayoría aspectos técnicos únicamente, y que solo podría ser refutable si el estudio hubiera dado dominante en algún otro nivel diferente del técnico.
6. El estándar DVB-T2 según el estudio realizado en el 2008 y en este documento, es el más conveniente para Colombia superando al ISDB-T por una diferencia del 1.9%, a su vez, le gana al estándar ATSC con una

diferencia del 4,5% y al estándar DTMB con una diferencia del 6,8% y aunque no hay una diferencia muy relativa entre el estándar DVB-T2 y ISDB-T, el estándar DVB-T2 tiene algunas ventajas sobre el otro en el criterio Técnico por lo cual fue elegido para Colombia.

7. Colombia ha cumplido con las regulaciones imputadas para el servicio de despliegue de sus redes, en donde casi cumple con la cobertura establecida para finales del 2018 el cual era de 92.26% llegando a tener 91.7%, aunque ya falta muy poco para realizar el apagón analógico no se sabe con certeza si podrá cumplir con todas las regulaciones para finales del 2019.
8. Se asegura que el apagón analógico podría cumplirse en la fecha establecida, donde la ANTV aclara que aún existe la oportunidad de ser pioneros en la transición a la TDT en parte de América del Sur y Centroamérica. Donde sería un éxito nacional ya que en toda la región, solo Canadá, EE.UU. y México han hecho el apagado de forma completa

8. Bibliografía

- [1] «Televisión analógica,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/capllevantcomunicaciones/home/television-analogica>.
- [2] «Televisión analógica,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/capllevantcomunicaciones/home/television-analogica>.
- [3] «Televisión Digital,» Gobierno de España, [En línea]. Available: <http://www.televisiondigital.gob.es/TelevisionDigital/Paginas/television-digital.aspx>.
- [4] «ESTÁNDARES DE TV DEL MUNDO (I): La Era Analógica,» 19 11 2013. [En línea]. Available: <https://blogdepromax.wordpress.com/2013/11/19/estandares-de-tv-del-mundo-i-la-era-analogica/>.
- [5] S. A. Gutiérrez Duarte, «Universidad Nacional de Colombia,» 09 04 2014. [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11869/>.
- [6] D. Osorio, «Asignación de frecuencias para la implantación de la DTV en Colombia,» 09 12 2009. [En línea]. Available: https://es.slideshare.net/daniel_b4e/asignacin-de-frecuencias-para-la-implantacin-de-la-dtv-en-colombia. [Último acceso: 23 12 2018].
- [7] «Universidad Nacional de Colombia,» Jimena Chilto, 02 09 2015. [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50651/>.
- [8] «Televisión Digital: Tipos y Características,» 03 03 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/aimaraa/televisin-digital-tipos-y-caractersticas>. [Último acceso: 21 12 2018].
- [9] «Antecedentes TDT,» [En línea]. Available: <https://antv.gov.co/index.php/tdt/conozca-los-beneficios-de-la-tdt/antecedentes-tdt>. [Último acceso: 1 05 2018].
- [10] J. Abreu, «Televisión Digital tipos y definiciones,» 03 03 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/aimaraa/televisin-digital-tipos-y-caractersticas>.
- [11] M. Solarte, «Televisión Digital Interactiva,» 21 04 2015. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiv9JKRy7bfAhVOpFkKHZeKAxgQjhx6BAGBEAM&url=https%3A%2F%2Fes.slideshare.net%2FEspTmGDST%2Ftelevisin-digital-interactiva->

47257000&psig=AOvVaw1CWxH9fduSUJU7le8z5vuM&ust=1545676318444002.
[Último acceso: 22 12 2018].

[12] J. M. Guerra, «ESTANDARES DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.,» 28 03 2015. [En línea]. Available: <https://prezi.com/iispl0z5rbc3/estandares-de-la-television-digital-terrestre/>.

[13] X. V. G. B. R. C. J. M. MISHELLE CORDERO, «ISDB-T TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.,» 04 02 2015. [En línea]. Available: <https://www.emaze.com/@AOCFTTW C/Presentation-Name>. [Último acceso: 23 08 2018].

[14] «ATSC Digital Television Standard: Part 2 RF Transmission System Characteristics, Advanced Television Systems Committee, January,» 2007.

[15] Elespectador.com, «Colombia adopta el estándar europeo para la TV digital terrestre,» 28 08 2008. [En línea]. Available: <https://www.elespectador.com/entretenimiento/arteygente/medios/articulo-colombia-adopta-el-estandar-europeo-tv-digital-terrestre>. [Último acceso: 10 07 2018].

[16] A. S. Villanueva, «LA TELEVISIÓN INFANTIL DE COLOMBIA EN LA TECNOLOGÍA DIGITAL TERRESTRE,» Universidad Javeriana , Bogotá, 2012.

[17] «DTV Status se comparan a escala mundial la transmisión digital de televisión mediante los sistemas ATSC, DTMB, DVB-T/DVB-T2 e ISDB-T.,» [En línea]. Available: <http://es.dtvstatus.net/>.

[18] «Estándares actuales de televisión digital: Una breve reseña,» *Portal de revistas académica UTP*, vol. 6, nº 1, 2015.

[19] «Televisión TDT en Pitalito ya funciona. Gratis,» 26 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKewjHgNy0y7bfAhVv1lkKHYxDCj4Qjhx6BAgBEAM&url=https%3A%2F%2Ffututel.com%2Fes%2Fnoticias-de-pitalito-huila-y-colombia%2F2719-television-tdt-en-pitalito-ya-funciona-gratis&psig=AOvVaw35ZLB1y2OxUW K8HYr>. [Último acceso: 22 12 2018].

[20] «Informe de la ANTV del sector TV 2013,» 25 07 2014. [En línea]. Available: <http://www.evaluamos.com/2011/internal.php?load=detail&id=14572>. [Último acceso: 15 12 2018].

[21] «Celulares no homologados serán bloqueados por la CRC en Colombia,» 17 04 2017. [En línea]. Available: <http://www.comunidad-ola.com/portal/index.php/telecomunicaciones/10802-celulares-no-homologados-seran-bloqueados-por-la-crc-en-colombia>.

- [22] A. o. R. I. a. B. (ARIB), «Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T) - Specification of channel coding, framing structure and modulation,» 1998.
- [23] X. V. G. B. R. C. J. M. CORDERO MISHELLE, «ISDB-T TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE,» 04 02 2015. [En línea]. Available: <https://www.emaze.com/@AOCFTTW C/Presentation-Name>. [Último acceso: 23 08 2018].
- [24] C. S. f. R. F. a. T. Industry, «Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System,» 2006.
- [25] N. O. O. Jlménez, «Comparison between the second generation standards of digital terrestrial television broadcasting: DVB-T2 y DTMB-A,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-44-Diagrama-en-bloque-del-sistema-DTMB-A_fig4_310313871.
- [26] «Cuba se apunta al apagón analógico con la norma de China para televisión digital,» 28 05 2013. [En línea]. Available: <https://havanainside.wordpress.com/2013/05/28/cuba-se-apunta-al-apagon-analogico-con-la-norma-de-china-para-television-digital/>. [Último acceso: 23 08 2018].
- [27] a. L. H. M. El-Hajjar, «A Survey of Digital Television Broadcast Transmission Techniques,» de *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, pp. pp. 1924-1949.
- [28] G. d. E. M. d. E. y. Empresa, «Televisión Digital,» [En línea]. Available: <http://www.televisiondigital.gob.es/TDT/Paginas/tdt.aspx>. [Último acceso: 10 07 2018].
- [29] a. L. H. M. El-Hajjar, «IEEE Communications Surveys & Tutorials,» *A Survey of Digital Television Broadcast Transmission Techniques*, vol. 15, nº 4, pp. 1924-1949, 2013.
- [30] L. F. O. Montoya, «“LA LLEGADA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE A COLOMBIA, EL RETO DE LA INTERACTIVIDAD,» PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA , Bogotá, 2011.
- [31] a. K. D. P.J. Langfeld, «The capacity of typical powerline reference channels and strategies for system design,» de *in International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC)*, 2001, pp. 271-278.
- [32] N. O. O. Jlménez, «Comparison between the second generation standards of digital terrestrial television broadcasting: DVB-T2 y DTMB-A,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-1-Estructura-general-del-sistema-DVB-T2-El-pre-procesamiento-de-entrada-no_fig1_310313871. [Último acceso: 15 10 2018].

- [33] Á. M. SOTO, «Estado y avances de la TDT en Colombia,» 01 2017. [En línea]. Available: http://www.aciemnacional.org/home/images/revista/Articulos/PDF_Art_Revista_128_Pag_50_52.pdf.
- [34] N. S.-B. FIGUEROA, «¿QUÉ ES EL MÉTODO DELPHI?,» 11 02 2012. [En línea]. Available: <https://www.eoi.es/blogs/nataliasuarez-bustamante/2012/02/11/%C2%BFque-es-el-metodo-delphi/>. [Último acceso: 12 12 2018].
- [35] D. Remondegui, «Metodo Delphi,» 03 11 2010. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwj2oK-xzLbfAhVo1kKHefEBkMQjhx6BAgBEAM&url=https%3A%2F%2Fes.slideshare.net%2Fla_pampa%2Fmetodo-delphi&psig=AOvVaw2KSY_zuAJQTEuMzGMOukvB&ust=1545676654649385.
- [36] M. G. P. A. Felix Antonio, «Selección de uan tecnología de banda ancha para la universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá, Usando una tecnica de decisión multicriterio,» *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN* , vol. 27, nº 1, pp. 132-137, 2007.
- [37] U. L. A. C. LISS, «Terrestrial DVB(DVB-T): A Broadcast Technology for StationaryPortable and Mobile Use,» *Proc. of the IEEE*, vol.94, no. 1, 2006, pp. pp. 183-193.
- [38] A. S. STDB31, *Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting*, Japón, 2005.
- [39] E. A. L. Salamanca, «Metodología para planificación de redes de televisión digital terrestre en Colombia,» *Universidad Distrital Francisco José De Caldas* , Bogotá, 2017.
- [40] A. J. CÓRDOBA, «PROPUESTA PARA LA ARMONIZACIÓN DE LAS REDES DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE PÚBLICA Y PRIVADA EN COLOMBIA, USANDO TÉCNICAS DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO,» [En línea]. [Último acceso: 23 12 2018].
- [41] M. Riquelme, «Toma De Decisiones: Concepto De Vital Importancia En La Empresa,» 27 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.webyempresas.com/toma-de-decisiones/>. [Último acceso: 12 28 2018].
- [42] «7 consejos para tomar buenas decisiones,» 14 06 2014. [En línea]. Available: <https://noticias.universia.net.co/en-portada/noticia/2014/07/14/1100505/7-consejos-tomar-buenas-decisiones.html>. [Último acceso: 28 12 2018].
- [43] S. A. GREGORY, «THE DESIGN METHOD,» 1966.

[44] D. G. Bravo, «Análisis de decisión multicriterio: MCDA,» 11 11 2018. [En línea]. Available: <http://www.neuroeconomix.com/analisis-de-decision-multicriterio-mcda/>. [Último acceso: 28 12 2018].

[45] J. d. I. Fuente, «El análisis multicriterio (MCDA) en la toma de decisiones,» 03 2018. [En línea]. Available: <http://www.pmfarma.es/articulos/2341-el-analisis-multicriterio-mcda-en-la-toma-de-decisiones.html>. [Último acceso: 28 12 2018]. [46] J. C. O. GÓMEZ y J. P. O. CABRERA, «EL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) Y LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO. EJEMPLO DE APLICACIÓN,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920503044>.

[47] R. Martín Martín, «Desarrollo de un modelo para la selección estratégica de proyectos basado en el Proceso Analítico Jerárquico(AHP),» [En línea]. Available: <https://docplayer.es/3870997-Desarrollo-de-un-modelo-para-la-seleccion-estrategica-de-proyectos-basado-en-el-proceso-analitico-jerarquico-ahp.html>.

[48] C. M. A. Gonzales, «Desarrollo de un algoritmo de decisión multicriterio para la gestión de las listas de es'era en la solicitud de HOLTER,» [En línea]. Available: http://oa.upm.es/37290/7/PFC_CLARA_MARIA_APARICIO_GONZALEZ_2015.pdf.

[49] «NALISIS MULTICRITERIO EN LA TOMA DE DECISIONES,» [En línea]. Available: <https://docplayer.es/3542055-Analisis-multicriterio-en-la-toma-de-decisiones.html>.

[50] RTVC, «Formato de estudio de la red de television Digital terrestre fase IV,» Bogotá, 2017.

[51] ANTV, «Mapa cobertura,» [En línea]. Available: <https://antv.gov.co/index.php/mapa-cobertura>. [Último acceso: 06 12 2018].

[52] «Estas son las 14 estaciones de la Fase III de TDT,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/search?q=Estaciones+y+proveedores+beneficiados+por+la+fase+III+de+TDT&oq=Estaciones+y+proveedores+beneficiados+por+la+fase+III+de+TDT&aqs=chrome..69i57.494j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. [Último acceso: 18 12 2018].

[53] «La TDT ya está disponible en 690 municipios de Colombia,» [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/la-tdt-cubre-690-municipios-de-colombia-de-1-122-232180>.

[54] G. d. Colombia, «Acuerdo Comercial entre la Unión Europea, Colombia y Perú,» [En línea]. Available:

http://www.tlc.gov.co/publicaciones/18028/acuerdo_comercial_entre_la_union_europea_colombia_y_peru. [Último acceso: 15 12 2018].

[55] «Se atrasa nuevamente cronograma de cobertura TDT,» [En línea]. Available: <http://cableservicios.com/blog/page/9/?s=tdt>. [Último acceso: 22 12 2018].

[56] W. M. G. S. X. W. S. W. a. K. W. Bretl, «ATSC RF, Modulation and Transmission,» IEEE, 2006, p. 44–59.

[57] C. d. R. d. C. —. R. d. Colombia, «Definición de las especificaciones técnicas de la TDT en Colombia,» 09 2012. [En línea]. Available: https://www.crcom.gov.co/recursos_user/Documentos_CRC_2012/Actividades_Regulatorias/TDT/documentos_soporte_TDT_20120914.pdf.

[58] «Así avanza la Tecnología Digital Terrestre en el país,» [En línea]. Available: <http://www.elcolombiano.com/tecnologia/asi-avanza-la-tecnologia-digital-terrestre-en-el-pais-MY2625394>.

[59] C. G. A. D. G. B. N. C. M. SÁNCHEZ JAIME LÓPEZ, «PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE REDES DVB-T PARA LA PROVISIÓN DE SERVICIOS LOCALES Y MÓVILES EN COLOMBIA,» Universidad Politécnica de Valencia , Valencia, 2009.

[60] M. Z. C. M. Stella Chie, Estándares actuales de televisión digital: Una breve reseña, Prisma, 2015.